



TUGAS AKHIR - RC-14-1501

STUDI *AIR TRAFFIC MANAGEMENT* : STUDI KASUS ANALISIS RUANG UDARA DI BANDAR UDARA INTERNASIONAL JUANDA

FACHRI RAMADHAN
NRP 3112100112

Dosen Pembimbing
Istiar, ST.,MT.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



TUGAS AKHIR - RC-14-1501

**STUDI *AIR TRAFFIC MANAGEMENT* : STUDI
KASUS ANALISIS RUANG UDARA DI BANDAR
UDARA INTERNASIONAL JUANDA**

FACHRI RAMADHAN
NRP 3112100112

Dosen Pembimbing
Istiar, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



FINAL PROJECT – RC-14-1501

**STUDY OF AIR TRAFFIC MANAGEMENT :
ANALYSIS OF JUANDA INTERNATIONAL
AIRPORT'S CAPACITY CASE STUDY**

FACHRI RAMADHAN
NRP 3112100112

Supervisor
Istiar, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

Studi Air Traffic Management : Studi Kasus Analisis Kapasitas Ruang Udara Bandar Udara Internasional Juanda

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Bidang Studi Transportasi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

FACHRI RAMADHAN

NRP. 3112100142

Disetujui oleh Pembimbing I

1. Istiar S.T.,M.T.



Surabaya
Juli, 2016

Studi *Air Traffic Management* : Studi Kasus Analisis Kapasitas Ruang Udara Bandar Udara Internasional Juanda

Nama: Fachri Ramadhan
Nrp: 31121000112
Dosen Pembimbing: Istiar S.T.,M.T
Jurusan: Teknik Sipil

ABSTRAK

Air Traffic Management atau yang biasa disingkat ATM merupakan suatu kegiatan pengelolaan semua pesawat udara yang beroperasi di ruang udara atau *airspace* maupun *maneuvering* area yang memanfaatkan sumber daya yang tersedia untuk mencapai tujuan tertentu. Tujuan ATM adalah menciptakan keamanan dan efisiensi yang berkaitan dengan penerbangan (*safe and efficient conduct of flight*). ATM sendiri terdiri oleh *Airspace Management (ASM)* dan *Air Traffic Flow Management (ATFM)*

Penelitian ini mengkaji tentang Penerapan *Air Traffic Management* di Bandar udara Internasional Juanda berdasarkan kapasitas Ruang Udara. Ruang Udara yang dimaksud adalah *terminal airspace* yang merupakan “jembatan” dari landasan Pacu dan rute penerbangan. Data yang dipakai adalah data sekunder. data sekunder didapat hasil dokumentasi dari lembaga- lembaga terkait.

Perhitungan pada *terminal airspace* dilakukan menggunakan Teori Pendekatan Kapasitas Ultimate Landasan Pacu dan Teori Kapasitas *Terminal Airspace* oleh Janic..

Kesimpulan yang diharapkan adalah besar kapasitas yang mampu ditampung oleh *terminal airspace* dan perkembangan kedepannya didasari oleh *Air Traffic Management*.

Pada tugas akhir ini setelah dilakukan analisis terhadap kapasitas runway, didapatkan kapasitas runway dengan operasi camp sebesar 26 operasi/jam. Sedangkan, pada analisis dengan metode FAA diperoleh kapasitas runway sebesar 58 operasi/jam pada kondisi VFR dan 71 operasi/jam pada kondisi IFR. Untuk kapasitas terminal airspace didapatkan kapasitas untuk operasi kedatangan sebesar 40 kedatangan/jam dengan metode formulasi pendekatan kapasitas runway. Sedangkan dengan menggunakan metode janic didapatkan kapasitas sebesar 43 kedatangan/jam. Hasil ini merupakan *supply* yang dimiliki oleh bandar udara Juanda.

Keyword : *Air Traffic Management, Kapasitas , Terminal Airspace*

Study of Air Traffic Management : Analysis of Juanda International Airport's Capacity Case Study

Nama : Fachri Ramadhan
Nrp : 31121000112
Dosen Pembimbing : Istiar S.T.,M.T
Jurusan : Teknik Sipil

ABSTRACT

Air Traffic Management or ATM is an activity that manage of all aircraft operating either on air space or maneuvering area by use available resource, to accomplish specific goal. The goal of ATM is to create safe and efficient conduct of flight. ATM is consist of Airspace Management (ASM) and Air Traffic Flow Management (ATFM)

This final project examined the implementation of air traffic management at Juanda International airport is based on the air space capacity. Air space is the "bridge" between runway and flight route. The data that used is secondary data from the institutions that related with this final project.

The method used to analyze air space capacity is The ultimate runway capacity theory and The Janic theory. The expected conclusions are how much capacity that can be provided by terminal air space and the terminal air space development in the future based on Air Traffic Management.

The final project analysis result is the air space capacity in mixed operations is 26 operation/hour. While using FAA method, the runway capacity is 58 operation/hour for VFR condition and 71 operation/hour for IFR condition. For

terminal airspace capacity, the results when using approaching theory are 40 arrival/hour, while using The Janic theory, the results are slightly differ with 43 arrival/hour. That is the Juanda Airport capacity that can be used .

Keyword : *Air Traffic Management, Capacity , Terminal Airspace.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT. karena atas rahmat Allah lah kami dapat menyelesaikan proposal tugas akhir ini dengan baik. Tugas akhir ini kami susun selama satu semester dengan melalui beberapa asistensi terhadap dosen asistensi terkait

Tugas akhir ini berisi tentang Analisis Kapasitas dari Ruang Udara Bandar Udara Internasional Juanda. yang didasari oleh Studi tentang *Air traffic Flow Management*.

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini kami telah dibantu oleh banyak pihak, untuk itu kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya pada:

1. Bapak Istiar S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing
2. Ibu Ir. Ervina Ahyudanari M.E. selaku dosen kelas Teknik Penulisan Ilmiah
3. Segenap mahasiswa Teknik Sipil 2011 dan 2012

Penyusun menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca.

Surabaya, 20 Agustus 2016

DAFTAR ISI

ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Lokasi studi	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Umum	7
2.2 <i>Air traffic Management</i>	7
2.3 <i>Air Traffic Flow Management</i>	9
2.3.1 Manfaat Penggunaan ATFM	11
2.3.2 Tujuan dan Limitasi dari ATFM	12
2.3.3 Operasi ATFM	13
2.4 <i>Airspace Management</i>	15
2.4.1 <i>Airspace</i> (Ruang Udara)	16
2.4.2 <i>Airway</i>	23
2.5 <i>Airside</i> Pada Area Bandar Udara	24
2.6 Kapasitas Bandar Udara	25
2.6.1 Hubungan Kapasitas dan <i>Demand</i>	30

2.6.2 Faktor yang Mempengaruhi Kapasitas Bandar Udara	33
2.6.3 Kapasitas <i>Runway</i> dan Pendekatan Kapasitas <i>Airspace</i>	36
2.6.4 Permodelan Kapasitas Ruang Udara Janic ...	69
2.7 <i>Delay</i>	78
BAB III METODOLOGI	81
3.1. Umum.....	81
3.2. Diagram Alir Penelitian.....	82
3.3. Studi Literatur.....	84
3.4. Pengumpulan Data	84
3.4.1 Survey Sekunder	84
3.5. Pengolahan Data.....	85
3.6. Kesimpulan.....	85
BAB IV DATA DAN ANALISIS KAPASITAS	
<i>RUNWAY</i>	87
4.1 Aturan <i>Traffic</i> dan Pola <i>Traffic</i> pada Bandar Udara Internasional Juanda.	87
4.1.1 Umum.....	87
4.1.2 Aturan <i>Traffic</i> Bandar Udara Juanda.....	87
4.1.3 Pola <i>Traffic</i> Bandar Udara Juanda.....	101
4.2 Formulasi Kapasitas <i>Ultimate</i>	103
4.2.1 Analisis Kapasitas <i>Ultimate Runway</i> Menggunakan Teori Ruang – Waktu.....	103
4.2.2 Analisis Kapasitas <i>Ultimate Runway</i> Menggunakan Metode FAA	119
4.3 Perhitungan Kapasitas Praktis Bandar Udara Juanda	126

4.4	Perhitungan Index Delay dan Total Delay	
Perjam	.....	131
4.4.1	Langkah Perhitungan Index Delay dan Total	
Delay	.....	131
BAB V	.....	141
ANALISIS KAPASITAS RUANG UDARA	.....	141
5.1	Formulasi Kapasitas Airspace.....	141
5.1.1	Adaptasi Formulasi Ruang waktu untuk	
Perhitungan kapasitas airspace.....		141
5.1.2	Langkah Perhitungan kapasitas Ultimate	
Terminal Airspace.....		142
5.1.3	Metode Janic untuk perhitungan kapasitas	
ultimate Airspace.....		149
5.1.4	Langkah perhitungan kapasitas ultimate	
airspace dengan metode Janic		152
5.2	Upaya Peningkatan Kapasitas di Bandar Udara	
Juanda		156
5.2.1	Upaya Peningkatan Kapasitas <i>Runway</i> di	
Bandar Udara Juanda		156
5.2.2	Upaya peningkatan kapasitas Ruang udara	
di Bandar Udara Juanda		171
BAB VI KESIMPULAN & SARAN	.....	175
6.1	Kesimpulan	175
6.2	Saran	176
DAFTAR PUSTAKA	.....	179

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kelas-kelas dari wilayah udara.....	21
Tabel 2. 2 Standar Separasi untuk <i>Landing</i> (IFR – Instrumental Flight Rules)	34
Tabel 2. 3 Klasifikasi Pesawat Terbang menurut Kecepatan <i>Landing</i> (kondisi IMC)	35
Tabel 2. 4 Perkiraan Letak <i>Exit Taxiway</i>	66
Tabel 4. 1 Detail titik marker ILS pada <i>Runway</i> 10	92
Tabel 4. 2 Rute Asal yang dihubungkan oleh STAR pada bandar Udara Juanda.....	95
Tabel 4. 3 Rute Tujuan yang dihubungkan dengan SID. 96	
Tabel 4. 4 Sektorisasi Ruang Udara di sekitar bandar udara Juanda.....	97
Tabel 4. 5 Jadwal Penerbangan Minggu , 24 Juli 2016 pukul 11:00 – 11: 59 WIB.....	105
Tabel 4. 6 Klasifikasi Pesawat Berdasarkan MTOW ...	107
Tabel 4. 7 Kecepatan <i>Approach</i> Tiap Tipe Pesawat ...	108
Tabel 4. 8 matrix jumlah operasi kedatangan hari minggu 24 Juli 2016.....	109
Tabel 4. 9 Matrix [Mij] untuk operasi kedatangan Minggu, 27 juli 2016.....	111
Tabel 4. 10 Matrix [Pij] untuk operasi kedatangan Minggu, 27 juli 2016.....	111
Tabel 4. 11 Tabel separasi antar keberangkatan.....	112
Tabel 4. 12 Matrix Jumlah Operasi Keberangkatan	113
Tabel 4. 13 Matrix [Pij] untuk keberangkatan.....	113
Tabel 4. 14 matrix waktu inter departure	114
Tabel 4. 15 Probabilitas ROT dari Tiap Pesawat pada operasi kedatangan.....	117

Tabel 4. 16 Kapasitas Ultimate <i>Runway</i> 10 Bandara Juanda 24-30 Juli 2016	119
Tabel 4. 17 Frekuensi Pergerakan Berdasarkan Klasifikasi Pesawat	120
Tabel 4. 18 Presentase jumlah <i>arrival</i> terhadap operasi harian	121
Tabel 4. 19 Tabel Jarak Exit taxiway dengan masing- masing threshold.....	122
Tabel 4. 20 Tabel Kapasitas <i>Runway</i> Menurut FAA	126
Tabel 4. 21 Perbandingan Kapasitas Ultimate dan Praktis	130
Tabel 4. 22 Tabel Data untuk Perhitungan Delay Index	131
Tabel 4. 23 Perhitungan DDF dan ADF	135
Tabel 4. 24 Perhitungan total hourly delay	140
Tabel 4. 25 Matrix [Mij] untuk operasi kedatangan Minggu, 27 juli 2016	158
Tabel 4. 26 Matrix [Pij] untuk operasi kedatangan Minggu, 27 juli 2016	158
Tabel 4. 27 Probabilitas ROT dari Tiap Pesawat pada operasi kedatangan	161
Tabel 4. 28 Kapasitas Ultimate <i>Runway</i> 10 Bandara Juanda 24-30 Juli 2016	163
Tabel 4. 29 Matriks Pij berdasarkan klasifikasi	164
Tabel 4. 30 Matrix Tij berdasarkan Klasifikasi	164
Tabel 4. 31 Tabel Perubahan kapasitas berdasarkan Presentase Pesawat Terbang	164
Tabel 4. 32 Letak Exit Taxiway <i>runway</i> baru dan <i>runway</i> existing	166

Tabel 5. 1 Tabel Jumlah pasangan kedatangan 24 – 30 juli 2016	145
Tabel 5. 2 Matriks Probabilitas Kedatangan 24 juli- 30 juli 2016	146
Tabel 5. 3 <i>Approach</i> speed pada terminal airspace	147
Tabel 5. 4 Matriks (Mij) jarak <i>interarrival</i> pada terminal airspace	148
Tabel 5. 5 Jumlah operasi penerbangan yang menggunakan pasangan entry gate RAMAT dan TIRUS	153
Tabel 5. 6 Matriks $_{kl}t_{ij}$	154
Tabel 5. 7 Presentase <i>Traffic</i> ditiap entry gate	155
Tabel 5. 4 Matriks (Mij) jarak <i>interarrival</i> pada terminal airspace	172

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Peta Lokasi Bandara Juanda	6
Gambar 1. 2. Lokasi Bandara Juanda diambil dari satelit	6
Gambar 2. 1 Kelas-kelas <i>Airspace</i> untuk <i>Regulatory Area</i>	17
Gambar 2. 2 Grafik hubungan antara <i>Delay</i> dan kapasitas	29
Gambar 2. 3 Hubungan antara Ratio <i>Demand</i> – Capacity dan Fluktuasi <i>Demand</i> terhadap Average Hourly <i>Delay</i> Pesawat Terbang	32
Gambar 2. 4 Diagram <i>space time</i> untuk <i>error-free</i> <i>interarrival spacing</i> pada <i>closing case</i>	42
Gambar 2. 5 Diagram <i>space-time</i> untuk <i>error-free</i> <i>interarrival spacing</i> pada <i>opening case</i>	43
Gambar 2. 6 Diagram <i>space-time</i> untuk <i>error-free</i> <i>interarrival spacing</i> pada <i>opening case</i> saat $V_i > V_j$ untuk kedua buah pesawat terbang yang dipisahkan di sekitar <i>entry gate</i>	44
Gambar 2. 7 Ilustrasi dari <i>buffer spacing</i> pada separasi sebenarnya antara Pesawat terbang saat memperhitungkan adanya <i>position error</i> ..	47
Gambar 2. 8 Diagram <i>space-time</i> untuk <i>error-free</i> <i>interarrival spacing</i> pada <i>mixed</i>	54
Gambar 2. 9 Contoh Grafik Penentuan Kapasitas <i>Runway</i>	61
Gambar 2. 10 Contoh Skema Tiga Dimensi Pada Ruang Udara Terminal	70

Gambar 2. 11 Contoh lintasan perkiraan <i>approach</i> dengan jarak horisontal antar pesawat.....	74
Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian	83
Gambar 4. 1 Skema Komunikasi Ujung Pandang FIR..	89
Gambar 4. 2 Upper Control Areas Ujung Pandang FIR	90
Gambar 4. 3 Ilustrasi Kerja Instrument Landing System	91
Gambar 4. 4 Letak Marker ILS pada <i>Approach Path</i> ...	92
Gambar 4. 5 SID pada <i>runway</i> 28.....	93
Gambar 4. 6 STAR untuk <i>Runway</i> 10	94
Gambar 4. 7 Perbandingan Jadwal Penerbangan Rencana dengan Operasi Aktual Pada 24 Juli 2016	102
Gambar 4. 8 Konfigurasi <i>Runway</i> dan Taxiway bandara Juanda.....	122
Gambar 4. 9 Kapasitas Dasar <i>Runway</i> Bandara Juanda Pada Kondisi VFR	124
Gambar 4. 10 Kapasitas dasar <i>Runway</i> Bandara Juanda Pada Kondisi IFR	125
Gambar 4. 11 Grafik Kapasitas Praktis 24 juli 2016 ...	127
Gambar 4. 12 Grafik Kapasitas Praktis 25 Juli 2016 ..	127
Gambar 4. 13 Grafik Kapasitas Praktis 26 juli 2016 ...	128
Gambar 4. 14 Grafik Kapasitas Praktis 27 juli 2016 ...	128
Gambar 4. 15 Grafik Kapasitas Praktis 28 juli 2016 ...	129
Gambar 4. 16 Grafik Kapasitas Praktis 27 juli 2016 ...	129
Gambar 4. 17 Grafik Kapasitas Praktis 30 juli 2016 ...	130
Gambar 4. 18 Grafik Bantu Untuk <i>Arrival Delay Index</i>	132
Gambar 4. 19 Grafik Bantu Untuk <i>Departure Delay Index</i>	133

Gambar 4. 20 Grafik Bantu untuk Perhitungan Rata-Rata delay.....	136
Gambar 4. 21 Perhitungan Nilai average delay untuk kedatangan menggunakan Grafik Bantu .	137
Gambar 4. 22 Perhitungan Nilai average delay untuk kedatangan menggunakan Grafik Bantu..	138
Gambar 4. 23 Grafik Bantu untuk penentuan kapasitas <i>runway</i> baru pada kondisi VFR	167
Gambar 4. 24 Grafik Bantu untuk penentuan kapasitas <i>runway</i> baru pada kondisi IFR	168
Gambar 5. 1 charts ILS <i>runway 10 approach path</i> ...	144
Gambar 5. 2 STAR <i>Runway 10</i>	150
Gambar 5. 3 Geometri Terminal Airspace dengan Entry Gate TIRUS dan RAMAT	151

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.2 Latar Belakang

Bandara Internasional Juanda merupakan salah satu bandara tersibuk di Indonesia, baik dari segi volume penumpang maupun pergerakan lalu lintas udaranya. tercatat jumlah pengguna jasa pada tahun 2015 mencapai 15 juta penumpang. sedangkan operasi penerbangan mencapai 120.000 pergerakan (Dirjen Perhubungan Udara , 2016). Jumlah *runway* yang dimiliki Bandara Internasional Juanda saat ini hanya ada satu buah. Artinya, *runway* hanya dapat menampung satu buah pesawat yang *take-off* atau *landing* dalam satu waktu bersamaan. Oleh karena itu Bandara Juanda hanya dapat melayani satu buah pesawat yang akan *take-off* maupun *landing* dalam suatu waktu tertentu.

Oleh karena itu diperlukan adanya suatu sistem *Air traffic Management* yang baik yang dapat mengoptimalkan pergerakan lalu lintas udara di Bandara Juanda untuk meningkatkan kapasitas bandara. Penerapan *Air Traffic Management* di Indonesia sudah digunakan sebagai solusi peningkatan kapasitas bandar udara dan persiapan “*Asean Open Sky*”.

Air Traffic Management (ATM) merupakan suatu penggabungan antara *airborne functions* dengan *ground based functions* (*Air Traffic Services*, *Airspace Management* dan *Air traffic flow management*) untuk menjamin keselamatan dan efisiensi pergerakan pesawat

pada saat melakukan semua fase penerbangannya (Ayu , 2009). Untuk menciptakan sistem *Air traffic Management* yang lebih baik, secara umum diperlukan pemanfaatan kemajuan teknologi semaksimal mungkin untuk mendukung transportasi udara agar lebih aman, sesuai dengan peraturan serta efisien dalam bidang sistem komunikasi, navigasi, dan *surveillance*.

ATM terbagi menjadi dua subsistem manajemen, yaitu *Air traffic flow management (ATFM)* dan *Air Space Management (ASM)*. Kedua subsistem tersebut saling mendukung untuk mencapai tujuan ATM, yaitu menjamin keselamatan dan efisiensi pergerakan pesawat udara. ATFM digunakan untuk membantu ATC untuk menyediakan penggunaan ruang udara dan kapasitas bandara yang paling efisien. Sedangkan ASM digunakan untuk memaksimalkan penggunaan ruang udara yang ada (Ayu, 2009).

Pola pengaturan lalu lintas udara atau *Air Traffic Flow Management (ATFM)* yang dilakukan oleh Bandara Juanda pada ruang udara *arrival* dan *departure* adalah menggunakan pola koordinasi antar unit dengan menggunakan standar separasi *Flight Level*, secara vertikal dan separasi berdasarkan waktu, secara horisontal.

Kapasitas suatu bandar udara sangat penting untuk diketahui, terkait dengan keselamatan penerbangan. Jika jumlah pesawat yang beroperasi di suatu bandar udara melebihi kapasitasnya, tentunya akan menyebabkan terjadinya *overload* pada sistem *Air Traffic Management (ATM)*. Misalnya pada *controller*, yang akan mengalami kelebihan beban kerja dan terjadi kelelahan, sehingga peluang terjadi pelanggaran-pelanggaran akan meningkat yang dapat membahayakan keselamatan operasi penerbangan.

Hal lain yang terkait dengan kapasitas bandar udara adalah kualitas pelayanan. Jika jumlah pesawat yang beroperasi melebihi daya tampung Bandar udara, maka kualitas pelayanan yang diberikan akan menurun. Seperti misalnya akan terjadi penundaan pelaksanaan operasi penerbangan, yang tentu akan merugikan konsumen.

Analisis yang akan dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini menitik beratkan dalam perhitungan kapasitas *airspace* Bandara Juanda serta memahami bagaimana pengaturan *air traffic flow* di Bandara Juanda dan hal – hal yang mendukung pengoperasian ATFM di Bandara Juanda. Sehingga, penulis berniat membahas hal ini dalam tugas akhir yang berjudul “STUDI *AIR TRAFFIC FLOW MANAGEMENT* : STUDI KASUS ANALISIS KAPASITAS RUANG UDARA BANDARA JUANDA”

1.3 Perumusan Masalah

Adapun permasalahan yang dapat dirumuskan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pola *Air Traffic Flow Management* di Bandara Juanda ?
2. Bagaimana kapasitas layanan pada ruang udara *Departure* dan *Arrival* di Bandara Juanda ?
3. Bagaimana Kapasitas *Runway* pada Bandar Udara Internasional Juanda ?
4. Bagaimana Hubungan Antara *supply* dan *demand* yang terjadi di Bandar Udara Internasional Juanda ?
5. Apakah Solusi yang ditawarkan untuk meningkatkan kapasitas ruang udara pada Bandar udara Internasional Juanda?

1.4 Tujuan

Berdasarkan permasalahan diatas, maka tujuan yang ingin dicapai adalah untuk :

1. Mengetahui pola *Air traffic flow management* di Bandara Juanda.
2. Mengetahui Kapasitas layanan pada ruang udara *departure* dan *arrival* di bandara Internasional Juanda.
3. Untuk Mengetahui Kapasitas Layan *Runway* pada Bandara Internasional Juanda.
4. Mengetahui Hubungan *supply* dan *demand* pada Bandar udara internasional Juanda
5. Memberikan Solusi peningkatan kapasitas pada ruang udara bandara internasional Juanda Berdasarkan ATFM.

1.5 Batasan Masalah

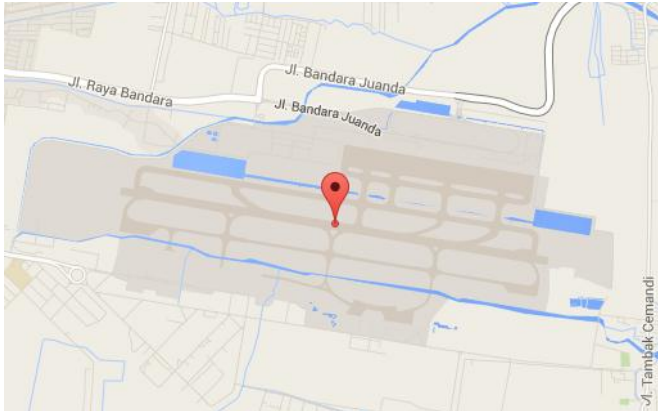
Agar tidak terjadi penyimpangan dalam pembahasan masalah ini maka perlu adanya batasan masalah sebagai berikut :

1. Lokasi penelitian adalah bandara Juanda, Sidoarjo, Jawa Timur.
2. Perhitungan dilakukan pada keberangkatan dan kedatangan
3. Jadwal operasi penerbangan yang ditinjau adalah jadwal penerbangan di lapangan.
4. Perhitungan hanya dilakukan untuk kapasitas ruang udara dan sistem *runway-taxiway* di bandara Juanda.

5. Ruang Udara yang dimaksud adalah ruang udara *Terminal*.
6. Fixed Point yang digunakan adalah SABIT, NIMAS (kedatangan).
7. Pada perhitungan *delay* hanya melihat perbedaan waktu rencana dan waktu aktual juga tidak memperhatikan alasan keterlambatan.
8. Tidak membahas masalah biaya terkait dengan upaya peningkatan kapasitas.

1.6 Lokasi studi

Lokasi yang ditinjau adalah pada bandara Juanda di Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. dengan koordinat $7^{\circ}22'47''\text{S}$ $112^{\circ}47'13''\text{E}$. berikut ini adalah gambaran lokasi penelitian.



Gambar 1. 1. Peta Lokasi Bandara Juanda



Gambar 1. 2. Lokasi Bandara Juanda diambil dari satelit

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Bagian kedua dari penulisan tugas akhir ini adalah tinjauan pustaka. Bagian ini merupakan sumber referensi dan acuan proses perhitungan dan analisis pada tahap-tahap selanjutnya.

2.2 *Air Traffic Management*

Air Traffic Management atau yang biasa disingkat ATM merupakan suatu kegiatan pengelolaan semua pesawat udara yang beroperasi di ruang udara atau *airspace* maupun *maneuvering* area yang memanfaatkan sumber daya yang tersedia untuk mencapai tujuan tertentu. Tujuan ATM adalah menciptakan keamanan dan efisiensi yang berkaitan dengan penerbangan (Ayu , 2009). Fungsi dalam manajemen operasi lalu lintas udara atau ATM yaitu:

- Manajemen ruang udara atau *Airspace Management*
- Manajemen pelayanan lalu lintas udara atau *Air traffic Service Management* :
 - *Air Traffic Service System (ATS System)*
 - *ATS System Capacity dan Air traffic flow management*
 - *ATS Contingency Plan*
- Manajemen Sumber Daya ATS :
 - Manajemen ATS Personil
 - Manajemen sumber daya fasilitas atau *Facility Management*
 - Manajemen keselamatan ATS atau *ATS Safety Management*

Sistem ATM menyediakan layanan yang ditujukan untuk menjamin keselamatan dan efisiensi dari arus lalu lintas udara. sehingga sistem ini diharapkan mampu untuk mengatasi masalah di bawah ini.

- Mengakomodasi jumlah pertumbuhan user dengan kemampuan dan permintaan yang berbeda.
- Mencapai tingkat keselamatan yang tinggi dibawah pengawasan dari publik atau media masa.
- Menghubungkan kelompok besar pekerja yang terdiri dari operator manusia yang terlatih (*Air traffic controllers* dan staf teknik lainnya) dengan jaringan komputer dan jaringan komunikasi, *surveillance*, dan peralatan navigasi.
- Memanfaatkan perkembangan teknologi untuk mencapai efisiensi.
- Mendapatkan suatu hubungan antara kualitas pekerjaan dengan tingkat harga yang wajar untuk melayani *providers* dan *users*.

Sistem ATM terdiri dari enam komponen sebagai berikut:

- Prosedur dan peraturan yang menunjukkan sistem operasi dari ATM dan pengaturan dari *airspace* disekitar bandar udara dan *en-route*.
- Sumber daya *air traffic controllers*, yang bertanggung jawab untuk menyediakan pelayanan ATM.
- Sistem otomasi (seperti komputer, display, dan software untuk keperluan khusus) yang menyediakan informasi kepada controllers mengenai status, lokasi, dan separasi dari pesawat terbang di dalam sistem dan membantu mereka dalam arus lalu lintas udara yang aman dan lancar. Selanjutnya ATC akan mengambil tindakan berupa : *Position Data Processing and Display* (RDPS/FDPS),

voice switching for ground communication, air – ground communication.

- Sistem komunikasi yang memungkinkan komunikasi suara, pertukaran dan sharing data untuk *air-ground, ground-ground, dan air-air*.
- Sistem navigasi yang menyediakan informasi *real-time* untuk tiap-tiap pesawat terbang mengenai posisi mereka, sehingga mereka dapat mengemudikan pesawat terbang melalui *airspace* dan di permukaan bandar udara.
- Sistem *surveillance* (seperti radar) yang menyediakan informasi posisi *real-time* untuk *air traffic controllers*, dan dapat pula untuk kokpit, untuk melacak pesawat terbang dan kondisi cuaca yang dapat membahayakan. (Ayu , 2009)

2.3 *Air Traffic Flow Management*

Air Traffic Flow Management atau yang biasa disingkat ATFM merupakan suatu peraturan dari lalu lintas udara atau *air traffic* yang dibutuhkan demi kelancaran lalu lintas udara dan menjaga agar kepadatan lalu lintas udara tersebut tidak melebihi kapasitas dari bandar udara atau *air traffic control* dalam menangani lalu lintas (<http://www.cfm.eurocontrol.int>). Selain itu ATFM juga digunakan untuk menjamin kapasitas yang tersedia dapat digunakan secara efisien dengan Cara mencegah terjadinya kepadatan lalu lintas, penumpukan dan penambahan biaya akibat delay.

ATFM bertujuan meningkatkan kapasitas *airspace* untuk memenuhi batasan kapasitas dari *Air traffic control* dan *demand* dari *airlines* untuk mengoptimasi biaya operasi. Jumlah pesawat terbang yang dapat dilayani untuk *take-off* maupun *landing* dari suatu bandar udara tertentu

atau jumlah pesawat terbang yang dapat dilayani pada suatu wilayah tertentu merupakan fungsi dari beberapa variabel, contohnya :

- Jumlah landasan pacu yang tersedia
- Kapasitas ATC
- *Air traffic controllers* dan *Air traffic control* melakukan beberapa tugas seperti :
- *Terminal Approach, Final Approach, Ground (arrivals), Gate operations (arrivals), Airport Surface, Gate operations (departures), Ground (departures)*, dan sampai pada *Take-off* atau *Transisition to Terminal and Center*. Jenis – jenis tugas dan keahlian yang dimiliki ATC akan menentukan kapasitas dari bandara.
- Aturan separasi, baik vertikal maupun horisontal pada ruang udara yang dilayani Separasi vertikal digunakan karena pesawat terbang menghasilkan *vorteks*. *Vorteks* ini dapat berinteraksi sayap pesawat terbang yang berada di belakangnya dan dapat merusak gaya angkat pesawat terbang. Efek ini lebih sering terjadi jika pesawat terbang yang berada di belakang berukuran lebih kecil dari pesawat terbang yang di depannya. Sedangkan separasi horisontal diberikan pada dua pesawat terbang yang terpisah kurang dari jarak minimum separasi vertikal.
- Pembatasan *airspace*
Pesawat terbang harus mengikuti aturan tertentu saat terbang di udara dan pembatasan jumlah pesawat yang dapat terbang dalam waktu tertentu. Keseluruhan pembatasan tersebut diatas merupakan fungsi dari waktu yang dapat menimbulkan masalah yang dinamis.

Perkembangan ATFM membawa dampak yang sangat besar pada ATM dan sistem operasi. Hal ini disebabkan ATFM menjadi instrumen penting untuk menjaga *delay* pesawat terbang yang ada di

udara dalam tingkatan yang dapat dikendalikan, untuk mengurangi biaya operasi *airlines* dan pengguna *airspace* lainnya, juga untuk meningkatkan pemakaian bandar udara dan sumber daya ATM dengan lebih baik.

Selain itu, ATFM juga dapat meningkatkan keselamatan dengan mengatur arus pergerakan pesawat terbang ke dalam bagian yang ramai dalam *airspace* dengan mengurangi kemungkinan pesawat terbang mengalami *delay* yang berlebihan di udara. Namun, ATFM juga mempunyai kelemahan antara lain karena ketidakefisiennya yang dapat memperlambat operasi *air traffic* dan memperburuk *delay*. Kelemahan-kelemahan tersebut bagaimanapun juga dapat diperbaiki secara bertahap melalui peningkatan keahlian, teknologi pendukung, dan *decision-making processes*.

2.3.1 Manfaat penggunaan ATFM

ATFM digunakan karena beberapa pertimbangan sebagai berikut :

- Hanya ada satu buah pesawat terbang yang dapat mendarat atau tinggal landas pada satu *runway* pada waktu yang sama.
- Pesawat udara harus terpisah dalam jarak atau selang waktu tertentu untuk menghindari terjadinya tabrakan.
- Kapasitas bandar udara yang terbatas sehingga hanya dapat melayani pesawat udara dalam jumlah tertentu demi keselamatan operasi.

Kapasitas bandar udara tersebut juga tergantung dari banyak faktor, diantaranya :

- Jumlah *runway* yang tersedia
- Layout dari *taxiway*

- Kemampuan *air traffic control* dalam melayani pesawat terbang *arrival* atau *departure*
- Keadaan cuaca pada saat itu

Keadaan Cuaca dapat memberikan dampak yang besar bagi operasi penerbangan di Bandar udara. Angin yang besar dapat membatasi penggunaan *runway*, dan visibilitas rendah menyebabkan tingkat separasi antara pesawat udara perlu diperbesar. Selain itu, *air traffic control* unit hanya mampu melayani pesawat udara dalam jumlah yang terbatas. Keterbatasan *air Traffic Control* dapat disebabkan oleh kekurangan tenaga kerja, perawatan radar yang tidak memadai, atau kekurangan perlengkapan. Hal – hal tersebut dapat mempengaruhi kinerja dari *air traffic control* di bandar udara dan juga pusat *air traffic control* untuk *en-route*.

2.3.2 Tujuan dan limitasi dari ATFM

Tujuan dari ATFM dapat diringkas sebagai berikut:

- Mencegah overloading apapun di bandar udara dan fasilitas ATM dan layanan yang mungkin dapat mempengaruhi safety.
- Mengurangi dampak ekonomi dan lainnya untuk operator penerbangan akibat kemacetan *air traffic*. Hal ini dapat dilakukan dengan menyesuaikan arus pesawat terbang secara dinamik sehingga *demand* akan sesuai dengan kapasitas yang tersedia di bandar udara, terminal *airspace*, dan di *en-route airspace*.

ATFM dapat pula menurunkan efek kepadatan, namun tingkat kontribusinya tersebut memiliki beberapa keterbatasan. Keterbatasan tersebut dapat berupa intervensi ATFM akibat *bottlenecks* pada sektor *en-route* dan intervensi akibat kapasitas bandar udara yang tidak mencukupi (sistem *runway* dan terminal *airspace*). Kasus ‘*bottlenecks*’ biasanya dapat diatasi oleh operator penerbangan dengan tingkat biaya yang dikeluarkan relatif rendah, yaitu melalui tindakan untuk mengatasi gangguan yang disebabkan kondisi lokal, seperti *rerouting* pesawat terbang dan restrukturisasi *traffic flow* di *airspace*. Pada beberapa kasus, ATFM dapat menghasilkan kapasitas yang tidak akan tersedia jika tidak menggunakan ATFM dan hal ini dapat mengurangi *delay* pada operator penerbangan. Namun, jika *bottlenecks* terjadi di bandar udara tujuan maka *delay* tidak dapat dihindari lagi dan ATFM tidak dapat mengurangi total *delay* operator penerbangan. ATFM dapat menyelesaikan dua buah situasi berikut:

- Mengurangi biaya dari *delay* yang tidak dapat dihindari Contohnya dengan menunda keberangkatan pesawat terbang di ground yang kemudian akan mengurangi konsumsi bahan bakar.
- Memodifikasi, yaitu suatu cara dimana *delay* didistribusikan secara merata ke seluruh operator penerbangan.

2.3.3 Operasi ATFM

Tiga fungsi utama yang dilakukan ATFM yaitu :

- Prediksi lokasi yang potensial terhadap *overloads*.
- Pengembangan solusi untuk mengatasi *overloads* tersebut.

- Mengawasi pengimplementasian solusi tersebut. Pengimplementasian tersebut biasanya mencakup perbaikan dari solusi pada *real time*.

Solusi yang biasanya digunakan oleh ATFM untuk mengatasi overloads terdiri dari tiga prinsip intervensi, yaitu :

- Ground handling
Contohnya : menunda pesawat terbang yang akan *take-off* untuk jangka waktu tertentu.
- Rerouting
Penggantian atau restrukturisasi beberapa *flight routes* untuk memodifikasi distribusi *traffic flows*.
- Metering
Contoh : mengatur tingkatan *traffic* saat melewati batas ruang tertentu dengan cara menyesuaikan separasi antar pesawat terbang.

Untuk mencapai suatu sistem ATFM yang baik dibutuhkan keahlian, proses, dan informasi secara akurat dan tepat waktu. Sebagai contoh, FAA melakukan suatu langkah penting dalam pengembangan *Enhanced Traffic Management System* (ETMS) dan gabungan dari *Aircraft Situation Display* (ASD). ETMS telah menciptakan sistem informasi yang sangat besar dan terus berkembang, baik informasi historis maupun keadaan lingkungan saat ini, yang terdiri Sedangkan untuk solusi metering merupakan solusi yang paling efisien untuk dilakukan.

Dari data geografis, *air traffic*, cuaca, dan data *traffic management*. Sebagian besar data ini dapat dibaca pada *display* apapun yang dilengkapi dengan ASD. Sistem ATFM menerima dan memproses informasi-informasi yang didapat dalam jumlah yang banyak dan harus

memutuskan bagian mana dari informasi tersebut yang relevan untuk mendukung *flow management*, dan data spesifik mana yang dibutuhkan pada tiap tingkatan *decision making*.

2.4 *Airspace Management*

Airspace Management merupakan bagian dari *Air traffic Management* (ATM). *Airspace Management* merupakan kegiatan pengaturan wilayah ruang udara di daerah bandara yang dilakukan untuk mencegah terjadinya tabrakan antar pesawat terbang yang berada dalam kawasan pergerakan bandar udara dengan rintangan yang berada di kawasan tersebut (Ayu, 2009). Pengaturan *airspace* area dilakukan oleh *Air traffic control System* (ATC Service), dalam hal ini oleh bagian *Approach Control Service* atau *Approach Control Unit*. Tugas *Approach Control Service* adalah memberikan panduan untuk transisi lalu lintas udara yang meninggalkan tahapan *en-route* menuju tahapan pendaratan di bandara dan dari tinggal landas menuju jalur penerbangan *en-route* yang direncanakan.

Pengaturan *airspace* area di Bandara Internasional Juanda dilakukan oleh PT(Persero) Angkasa Pura I. Tujuan dari *Airspace Management* di Bandara Internasional Juanda adalah untuk meningkatkan daya tampung atau kapasitas ruang udara yang selanjutnya akan menciptakan kondisi lalu lintas udara yang aman, lancar, teratur, ekonomis serta efisien. Pengaturan lalu lintas udara di daerah sekitar bandara dibatasi oleh kapasitas bandara tersebut.

2.4.1 *Airspace* (ruang udara)

Airspace adalah bagian dari atmosfer yang diatur oleh suatu negara tertentu pada bagian diatas teritorialnya dan teritorial airnya, atau lebih umum, semua bagian spesifik tiga dimensi dari atmosfer (Horonjeff, 2010). Pada dasarnya *airspace* dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

- *Controlled airspace*
Merupakan bagian dimana *air traffic control* diperlukan untuk melakukan pengaturan atas pesawat terbang yang berada di *airspace* tersebut.
- *Uncontrolled airspace*
Merupakan bagian *airspace* dimana *air traffic control* tidak melakukan pengaturan apapun, meskipun sebagai tindakan *advisory*.

Alokasi penggunaan flight rules di *airspace* dibagi menjadi dua, yaitu :

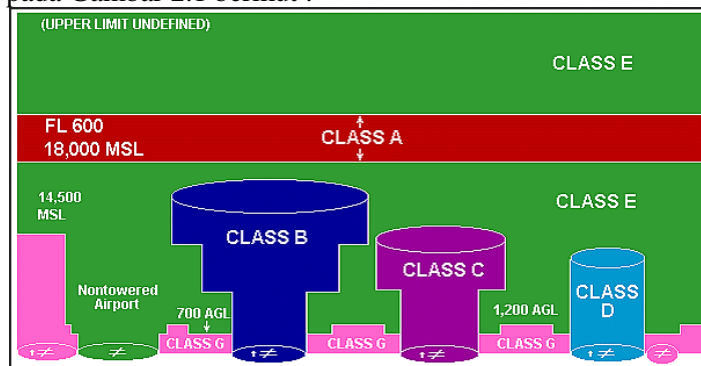
- *Instrument Flight Rules*
Terbang dengan menggunakan IFR didefinisikan sebagai mengoperasikan pesawat terbang sesuai dengan *Instrument Flight Rules* yang berlaku. IFR dapat digunakan dalam kondisi cuaca apapun, baik cuaca cerah maupun cuaca buruk yang ekstrim
- *Visual Flight Rules*
Terbang dengan menggunakan VFR pada umumnya merupakan cara untuk mengoperasikan pesawat terbang dengan referensi informasi luar yang didapat melalui pengamatan visual, dengan visibilitas terbang sejauh tiga mil dan dalam jarak 1000 feet bebas dari awan sekitar. Special VFR merupakan suatu perijinan dari ATC kepada pesawat terbang untuk beroperasi pada *controlled*

airspace dengan visibilitas minimum sejauh 1 mil dan "bebas dari awan."

Kategori pembagian *airspace* adalah sebagai berikut :

- Regulatory
Terdiri dari area *airspace* kelas A, B, C, D, dan E; *Restricted Areas* dan *Prohibited Areas*. Ada pula kelas G untuk *airspace* yang tidak termasuk A, B, C, D, ataupun E.
- Non Regulatory
Terdiri dari *Military Operating Areas* (MOA), *Warning Areas*, *Alert Areas*, dan *Controlled Firing Area*.
Regulatory area didefinisikan seperti yang digambarkan

pada Gambar 2.1 berikut :



Gambar 2. 1 Kelas-kelas Airspace untuk Regulatory Area

Sumber : *Planning and Design of Airports*, Robert Horonjeff, 2010

- Kelas A

Airspace kelas ini berada pada ketinggian 18.000 feet *Mean Sea Level* (MSL) sampai *Flight Level* (FL) 600 (60.000 feet). Operasi pada kelas ini harus dilakukan dengan menggunakan *Instrument Flight Rules* (IFR) atau *Special Visual Flight Rules* (SVFR) dan harus memenuhi ijin dari ATC. Pengoperasian dengan *Visual Flight Rules* (VFR) tidak diperbolehkan pada kelas ini.

- Kelas B

Airspace kelas ini berada sampai pada ketinggian 10.000 feet dari atas tanah yang mengelilingi bandar udara yang paling ramai di suatu negara, untuk beberapa kasus bahkan mungkin lebih tinggi. Tingkat paling tinggi dari *airspace* kelas B ini dapat ditambah secara horisontal hingga radius 15 nm di sekitar airport tower. Namun, tidak ada dimensi yang universal untuk semua kelas B. Hal ini dikarenakan *traffic flow*, keadaan geografis, dan pertimbangan lainnya mengenai arsitektur sesungguhnya dari tiap-tiap area kelas B. Operasi penerbangan pada kelas ini dapat dilakukan dengan menggunakan IFR, SVFR, atau VFR. Semua pesawat terbang harus mendapat ijin terlebih dahulu dari ATC untuk dapat beroperasi. Tiap-tiap penerbangan akan diberi separasi antara satu dengan lain di ATC. Visibilitas agar dapat beroperasi sejauh 3 mil dan harus bebas dari awan.

- Kelas C

Airspace kelas ini digunakan untuk *garden-variety* dari bandar udara komersial. *Airspace* ini dapat diubah sesuai dengan kondisi daerah masing-masing, namun pada umumnya batasnya berupa silinder yang mengelilingi bandar udara dengan diameter 5 mil dari permukaan hingga 1.200 feet AGL (*Above Ground Level*), dan kemudian bertambah diameter 10 mil hingga ketinggian 4.000 feet AGL. Operasi penerbangan pada kelas ini dilakukan dengan menggunakan IFR, SVFR, atau VFR. Semua penerbangan harus mendapat izin dari ATC. Pesawat terbang yang beroperasi dengan menggunakan IFR dan SVFR diberi separasi antara satu dengan yang lain dari operasi pesawat terbang yang menggunakan VFR. Operasi penerbangan yang menggunakan VFR akan diberi informasi yang sama dengan penerbangan VFR lainnya.

- Kelas D

Airspace kelas ini meliputi daerah dari permukaan hingga ketinggian 2.500 feet, dengan radius biasanya sebesar lima mil. Operasi penerbangan pada kelas ini dapat dilakukan dengan menggunakan IFR, SVFR, atau VFR. Operasi penerbangan dengan VFR harus dilakukan dengan menggunakan radio komunikasi dua arah. Visibilitas minimum yang diijinkan adalah tiga mil, dan berada pada jarak dibawah 500 ft, diatas 1.000 ft, dan 2.000 ft horisontal dari awan.

- Kelas E

Pendefinisian kelas ini kompleks, karena kelas ini meliputi keseluruhan *airspace* yang tidak termasuk kelas-kelas sebelumnya. Namun, kelas E biasanya mempunyai

empat batasan minimum, yaitu batas permukaan, 700 ft AGL, 1.200 ft AGL, atau 14.500 ft MSL. Kebanyakan negara menggunakan batas bawah dari kelas E sebesar 1.200 ft AGL. Operasi penerbangan pada kelas ini dapat dilakukan dengan menggunakan IFR, SVFR, dan VFR. Pesawat terbang yang beroperasi menggunakan IFR dan SVFR terpisah satu sama lain, dan harus memenuhi ijin dari ATC. Pesawat terbang yang beroperasi dengan VFR tidak membutuhkan ijin dari ATC. Namun dalam prakteknya, informasi *traffic* diberikan untuk semua penerbangan sesuai dengan informasi yang diberikan untuk penerbangan dengan VFR.

Sedangkan untuk *uncontrolled area* didefinisikan sebagai berikut :

- Kelas G

Airspace kelas ini merupakan bagian-bagian yang belum didefinisikan dalam kelas A, B, C, D, atau E. *Airspace* Kelas G ini terbentang pada permukaan bawah *airspace* Kelas E. Meski ATC tidak mempunyai otoritas atau tanggung jawab untuk mengatur lalu lintas udara, pilot harus memperhatikan batas minimum VFR yang terdapat pada *airspace* Kelas G ini. Operasi penerbangan dengan menggunakan IFR dan VFR diperbolehkan dan pesawat terbang dapat menerima layanan informasi penerbangan jika diinginkan.

Secara singkat, pembagian kelas-kelas *airspace* untuk Regulatory Area adalah sebagai berikut :

Tabel 2. 1 Kelas-kelas dari wilayah udara

Air space	Flight visibility	Distance From Clouds
Class A	Not applicable	Not applicable
Class B	3 statute miles	Clears of clouds
Class C	3 statute miles	500 feet below 1.000 feet above 2.000 feet Horizontal
Class D	3 statute miles	500 feet below 1.000 feet above 2.000 feet horizontal
Class E		
Less than 10.000 feet MSL	3 statute miles	500 feet below 1.000 feet above 2.000 feet horizontal
At or above 10.000 feet MSL	5 statute miles	1.000 feet below 1.000 feet above 1 statute mile horizontal
Class G		
1.200 feet or less above the surface (regardless of MSL altitude)	1 statute mile	Clear of clouds
More than 1.200 feet above the	1 statute mile	500 feet below 1.000 feet above

surface but less than 10.000 feet MSL		2.000 feet horizontal
More than 1.200 feet above the surface and at or above 10.000 feet MSL	5 statutes miles	1.000 feet below 1.000 feet above 1 statute mile horizontal

Non-regulatory Area dibagi menjadi beberapa daerah, yaitu :

- *Military Operating Area (MOA)*

Daerah ini digunakan untuk operasi atau latihan operasi militer bagi angkatan bersenjata suatu negara. Ketinggian daerah ini berbeda pada setiap area dan dapat ditentukan dengan melihat *sectional chart legend*. Pesawat yang dapat digunakan dalam area ini boleh berukuran berapa saja dan dengan bentuk apapun. Jika pesawat yang digunakan adalah IFR, maka ATC akan menyediakan separasi yang sesuai. Namun jika pesawat yang digunakan adalah VFR, disarankan untuk menghubungi fasilitas pengaturan untuk mengecek status MOA. ATC akan menyediakan separasi untuk penerbangan yang menggunakan VFR yang menghubungi mereka. Meskipun pilot pesawat VFR tidak dilarang untuk memasuki MOA, namun mereka harus tetap waspada terhadap aktifitas operasi militer yang sedang berlangsung, contohnya *aerial refueling*, pelatihan *air combat*, dan *formation flying*.

- *Warning Area*

Merupakan area berbahaya yang terbentang diatas perairan internasional, diluar batas pantai tiga mil. Penerbangan dengan menggunakan pesawat *ultralight* tidak mungkin dilakukan.

- *Alert Area*

Area ini hampir sama dengan MOA, namun perbedaannya terdapat pada pesawat udara yang beroperasi di daerah ini harus memahami semua peraturan yang berlaku, baik sebagai pemakai maupun mengenai transiting area tersebut. Pesawat udara diperbolehkan melewati Alert Area tanpa ijin terlebih dahulu. *Alert Area* ini meliputi daerah dengan lalu lintas *general aviation* yang tinggi, operasi penerbangan yang tidak biasa atau banyaknya *student training*.

- *Controlled Firing Area*

Controlled Firing Area (CFA) merupakan suatu ruang udara yang dirancang untuk melakukan aktivitas yang jika tidak dilakukan di daerah yang terkontrol dapat membahayakan pesawat lain yang tidak berkepentingan.

2.4.2 *Airway*

Dalam dunia penerbangan, yang dimaksud dengan *airway* adalah rute yang dirancang di udara. *Airways* terletak diantara alat bantu navigasi, seperti VOR, NDB dan *intersections*. Sebuah *airway* disusun berdasarkan rute yang akan ditempuh dengan memperhatikan keberadaan fasilitas komunikasi, navigasi, *surveillance* yang terdapat di sepanjang rute yang akan dilalui (Ayu, 2009).

Indonesia memiliki *international airways* dan *domestic airways*. Penamaan *airway* biasanya terdiri dari

empat karakter, yaitu ANNN. Diawali dengan A (alfabet) dan diikuti N (numerik). Secara umum terdapat empat jenis *airway* menurut alfabetnya, yaitu A (Amber), B (Blue), G (Golf), dan W (Whiskey) [2]. Berdasarkan data tahun 1999, domestic *airway* yang dimiliki Indonesia yaitu 53 buah *airway* dengan fasilitas VOR/DME dan NDB yang terpasang di sebagian besar bandar udara yang digunakan untuk memandu lalu lintas udara pada ruang udara en-route dan ruang udara terminal. International *airway* yang dimiliki Indonesia yaitu sekitar 27 buah *airway*.

2.5 *Airside* Pada Area Bandar Udara

Airside area suatu bandar udara terdiri dari :

- *Apron /gate complex* dengan *interfaces* yang memungkinkan user untuk lewat dari gedung terminal ke pesawat dan sebaliknya. Namun pada tugas akhir ini konsentrasi analisis dilakukan pada *aircraft movement*, bukan pada *passenger movement* sehingga bagian *apron/gate complex* ini tidak dianalisis lebih lanjut. Bagian *apron/gate complex* hanya perlu melihat berapa pesawat yang dapat dilayani oleh sistem ini. Jika pesawat yang harus dilayani lebih banyak daripada kapasitas *apron/gate complex*, maka akan terjadi *delay* pada sistem ini.
- Sistem *taxi-ways* dan sistem *runways* yang berbatasan dengan *airspace* yang memungkinkan pesawat menghabiskan waktu sesaat sebelum kedatangan dan setelah keberangkatan. Perlu diperhatikan pula agar waktu pelayanan dari sistem ini agar tidak melebihi jadwal yang sudah ada. Jika terjadi kelebihan waktu layan dari jadwal yang sudah ada maka *delay* tidak dapat dihindari, atau harus dilakukan *rescheduling*.

Untuk memperkirakan kapasitas ‘*ultimate*’ suatu bandar udara, *airside* area suatu bandar udara dibagi menjadi 4 komponen sebagai berikut :

- Ruang udara di sekitar bandar udara yang memungkinkan pesawat datang dan pergi.
- Sistem *runway* dimana pesawat menghabiskan waktu sesaat sebelum *take-off* dan setelah *landing*. Untuk tujuan memodelkan kapasitas ‘*ultimate*’, sistem *runway* dan ruang udara sekitarnya biasanya dianggap sebagai komponen yang umum dari *airside* area suatu bandar udara.
- Jaringan *taxi-ways* yang menyediakan akses bagi pesawat untuk menuju *runway* sebelum *take-off* dan menuju *apron/gate complex* setelah *landing*.
- Ruang manuver yang terdapat di apron yang digunakan pesawat untuk masuk dan/atau keluar dari *parking/gate stands*, dimana dilakukan *ground service*.

2.6 Kapasitas Bandar Udara

Pembahasan mengenai teori kapasitas bandar udara diperlukan untuk memahami dan menentukan besarnya kapasitas pada Bandara Juanda, yang kemudian akan dibandingkan dengan jumlah operasi yang dilayani bandara untuk memenuhi fungsi dari ATFM. Pelayanan suatu sistem transportasi udara ditawarkan dalam bentuk satuan kapasitas yang disediakan oleh sistem dalam suatu waktu tertentu dan dalam kondisi tertentu. Oleh karena itu kapasitas suatu bandar udara menentukan banyaknya *demand* dari *airline* yang dapat dilayani oleh bandar udara tersebut.

Bandar udara (*aerodrome*) adalah kawasan di tanah atau air tertentu (termasuk setiap bangunan, instalasi-

instalasi dan peralatan) yang dimaksudkan untuk digunakan seluruh maupun sebagian untuk pendaratan, keberangkatan dan pergerakan pesawat udara di permukaannya. Bandar udara (*airport*) dapat dibagi 2 bagian berdasarkan kegunaan fasilitasnya, sisi udara (*air side*) dan sisi darat (*land side*). Fasilitas yang termasuk dalam sisi udara adalah ruang udara (*airspace*), landasan pacu (*runway*), landasan hubung (*taxiway*) dan landasan parkir (*apron*) (Indah, 2009).

Kapasitas Bandar udara dapat didefinisikan sebagai kemampuan sistem untuk mengakomodasi operasi pendaratan dan tinggal landas pesawat yang dinyatakan dalam jumlah operasi pergerakan pesawat per satuan waktu (dalam operasi perjam atau per tahun). Untuk perencanaan bandar udara, kapasitas *runway* didefinisikan dengan dua cara yaitu :

- Kapasitas Ultimate
Berikut ini definisi kapasitas ultimate yang diambil dari beberapa sumber yaitu :
 - a. Menurut Horonjeff dan McKelvey dalam *Planning and Design of Airports*, kapasitas jenuh didefinisikan sebagai jumlah maksimum pesawat beroperasi yang dapat ditampung oleh sistem selama waktu tertentu saat ada suatu permintaan yang terus menerus untuk dilayani.
 - b. Menurut Ashford dan Wright dalam *Airport Engineering*, kapasitas jenuh didefinisikan sebagai jumlah maksimum pesawat yang dapat ditangani selama periode tertentu dalam kondisi permintaan yang terus menerus.
 - c. Menurut Odoni dan Neufville dalam *Airport Systems* kapasitas jenuh didefinisikan sebagai perkiraan jumlah pergerakan yang dapat dilakukan dalam satu jam pada

suatu sistem *runway* tanpa melanggar aturan *Air Traffic Management (ATM)*, diasumsikan permintaan pesawat yang terus menerus.

- d. Menurut Wells dan Young dalam *Airport Planning & Management*, kapasitas jenuh didefinisikan sebagai nilai maksimum dimana operasi pesawat dapat ditangani dengan mengabaikan delay yang mungkin terjadi sebagai hasil dari ketidaksempurnaan dalam operasi.

Sehingga dari pendapat-pendapat diatas dapat disimpulkan kapasitas ultimate adalah perkiraan jumlah pergerakan pesawat yang dapat ditampung oleh suatu sistem dalam suatu periode tertentu, pada kondisi permintaan yang terus menerus dengan mengabaikan delay yang terjadi, tanpa melanggar aturan ATM.

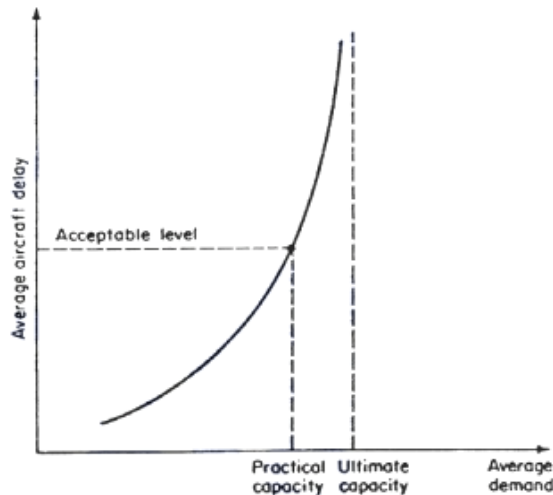
- Kapasitas Praktis
Berikut ini definisi kapasitas praktis yang diambil dari beberapa sumber yaitu :
 - a. Menurut Horonjeff dan McKelvey dalam *Planning and Design of Airports*, kapasitas praktis didefinisikan sebagai jumlah pesawat beroperasi selama waktu tertentu yang disesuaikan dengan rata-rata penundaan (delay) pada suatu tingkat yang dapat ditoleransi.
 - b. Menurut Ashford dan Wright dalam *Airport Engineering*, FAA merekomendasikan konsep pengukuran kapasitas praktis disesuaikan dengan tingkat delay yang dapat ditoleransi. (Contoh delay untuk pesawat yang berangkat rata-rata 4 menit selama dua puncak jam sibuk yang berdekatan pada satu minggu).

- c. Menurut Odoni dan Neufville dalam *Airport Systems*, kapasitas praktis per jam atau *Practical Hourly Capacity* (PHCAP) merupakan metode yang dikembangkan oleh FAA pada awal tahun 1960. PHCAP didefinisikan sebagai perkiraan jumlah pergerakan pesawat yang mampu dilakukan dalam 1 jam pada suatu sistem *runway* dengan rata-rata delay 4 menit pada setiap pergerakan.
- d. Menurut Wells dan Young dalam *Airport Planning & Management*, kapasitas praktis dipahami sebagai suatu jumlah operasi yang mungkin ditampung pada suatu waktu tanpa melebihi suatu nominal delay. FAA mendefinisikannya sebagai jumlah operasi yang dapat ditangani pada suatu bandar udara yang menghasilkan rata-rata delay tidak lebih dari 4 menit selama periode tersibuk.

Jadi definisi kapasitas praktis *runway* dapat disimpulkan sebagai perkiraan jumlah pergerakan pesawat yang dapat ditampung oleh suatu sistem dalam suatu periode tertentu, dengan mempertimbangkan delay yang dapat ditoleransi yaitu tidak lebih dari 4 menit.

Kapasitas suatu bandar udara, baik kapasitas ‘*ultimate*’ maupun kapasitas ‘*practical*’ selalu tergantung pada kapasitas subsistemnya, yaitu *landside area* dan *airside area*. Perbedaan mendasar dari kedua ukuran kapasitas ini adalah yang satu dihubungkan dengan *delay*, yang merupakan ukuran dari *service quality* pada sistem bandar udara, dan yang lain tidak. Kapasitas *ultimate* tidak memperhitungkan *delay* dan menunjukkan kemampuan *airfield* untuk mengakomodasi pesawat terbang pada saat puncak periode operasi. Besarnya *delay* terutama dipengaruhi oleh pola dari *demand* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Kapasitas *ultimate* tidak

terlalu banyak manfaatnya, kecuali untuk perencanaan jangka panjang. Untuk keperluan operasi sebaiknya menggunakan kapasitas praktis.



Gambar 2. 2 Grafik hubungan antara *Delay* dan kapasitas

Sumber : Analisa Kapasitas Landasan Pacu : Studi Kasus Bandara Internasional Soekarno-Hatta (Indah, 2009)

Kapasitas suatu bandar udara dapat dihitung dengan menggunakan metode-metode yang tersedia. Salah satu metode yang paling sederhana dan banyak digunakan oleh bandar udara dan otoritas *Air traffic control* adalah dengan menghitung jumlah entitas yang dilayani dalam suatu interval waktu tertentu (per jam, per hari, per minggu, per bulan, dan/atau per tahun). Namun metode ini memiliki kelemahan, yaitu tidak dapat digunakan untuk analisis yang lebih lanjut karena metode ini hanya dapat

memberikan hasil perhitungan pada akhir periode. Metode ini tidak memperhitungkan faktor-faktor dan kondisi-kondisi yang mempengaruhi jumlah dan tingkat layanan yang diberikan dalam jangka waktu tertentu. Sebaliknya, metode ini dapat berguna dan tepat digunakan untuk membuat perbandingan yang sederhana dan jelas mengenai jumlah pergerakan pesawat dalam suatu waktu di suatu bandar udara.

2.6.1 Hubungan kapasitas dan *demand*

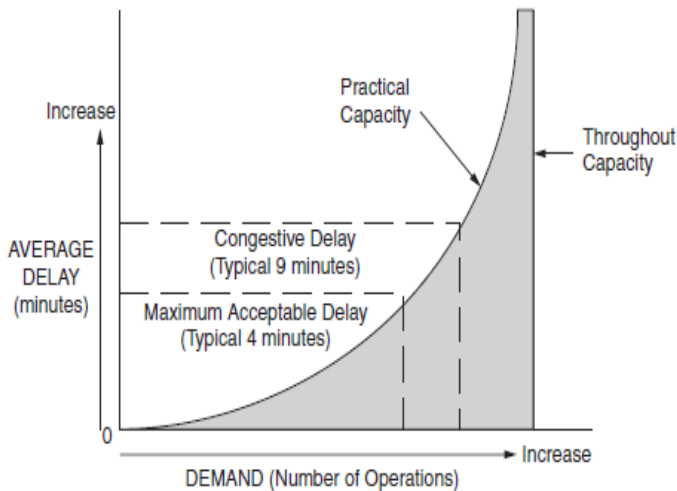
Kapasitas maksimum dari kapasitas *ultimate* suatu fasilitas dalam menyediakan jasa layanan untuk melayani *demand* dalam suatu waktu tertentu dapat diketahui jika terdapat *demand* yang kontiniu. Namun, dalam dunia penerbangan *demand* yang kontiniu tidak mungkin dapat terjadi dalam jangka waktu sistem penerbangan tersebut beroperasi. Meski diciptakan suatu *demand* kontiniu buatan dengan cara menyebabkan *backlog* atau membatasi fasilitas layanan yang ada, seperti membatasi periode operasi atau mengurangi staff operasi yang bertugas, hal ini akan menimbulkan *delay* pada fasilitas tersebut sehingga kualitas dari pelayanan akan menurun dan menyebabkan situasi yang tidak diinginkan terjadi. Jadi perencanaan suatu fasilitas perlu memperhatikan masalah penyediaan kapasitas yang mencukupi untuk mengakomodasi *demand* yang berfluktuasi dalam tingkatan atau level yang dapat diterima maupun kualitas dari layanan tersebut untuk jangka waktu yang panjang.

Jika *demand* mulai mendekati kapasitas maka *delay* pada pesawat terbang akan terbentuk dengan sangat cepat. *Congestion* atau kepadatan biasanya dihubungkan dengan peningkatan *delay*, khususnya jika *demand* mendekati kapasitas untuk periode yang sangat singkat.

Tujuan utama dari pembelajaran kapasitas dan *delay* adalah untuk menentukan cara yang efektif dan efisien untuk meningkatkan kapasitas dan mengurangi *delay* di bandar udara. Dalam kenyataannya, analisis dilakukan untuk memeriksa perubahan *demand*, konfigurasi operasi di bandar udara, dan dampak dari modifikasi fasilitas dalam kualitas pelayanan *demand*.

Besarnya *delay* sangat dipengaruhi oleh pola *demand* yang ada. Sebagai contoh, jika beberapa pesawat terbang ingin memakai *airfield* dalam waktu yang bersamaan maka akan timbul *delay* yang lebih besar daripada jika pesawat terbang tersebut dipisahkan dengan memberi jarak interval waktu. Karena fluktuasi *demand* pada tiap – tiap jam sangat bervariasi, maka average *delay* pada tiap tingkat *demand* pesawat terbang tiap jam juga sangat bervariasi. Kapasitas bergantung pada kondisi yang sedang berlaku pada saat itu, misalnya *visibility*, *air traffic control*, *aircraft mix*, dan tipe operasi. Oleh karena itu, untuk menghitung kapasitas harus ditentukan terlebih dahulu kondisi yang berlaku pada saat itu. Bagaimanapun juga, kapasitas tidak boleh disamakan dengan *demand*.

Kapasitas mengarah pada kemampuan fisik dari *airfield* dan komponen –komponennya. Kapasitas mengukur *supply*, dan tidak bergantung pada besar dan fluktuasi *demand* serta jumlah *delay* pesawat terbang. Sedangkan *delay* tergantung pada kapasitas dan besar serta fluktuasi dari *demand*. Salah satu cara untuk mengurangi *delay* pesawat terbang adalah dengan meningkatkan kapasitas dan menyediakan pola *demand* yang lebih seragam (yaitu dengan mengurangi puncak *demand*). Hubungan tersebut dapat digambarkan melalui Gambar 2.3



Gambar 2. 3 Hubungan antara Ratio Demand – Capacity dan Fluktuasi Demand terhadap Average Hourly Delay Pesawat Terbang

Sumber : *Airport Engineering*, Norman J. Ashford, 2011

Pada gambar diatas ditunjukkan bahwa saat *demand* mendekati kapasitas, maka *delay* pesawat terbang akan meningkat tajam. Oleh karena *congestion* yang biasanya dihubungkan dengan peningkatan *delay*, perancang harus menaruh perhatian lebih pada tingkatan *demand* bandara yang diinginkan jika mendekati kapasitas dalam waktu yang singkat. Dengan demikian, mengestimasi besarnya *delay* dan dampak ekonomi yang ditimbulkan akan lebih berguna dalam pengembangan bandara dibanding hanya menentukan kapasitas.

2.6.2 Faktor yang mempengaruhi kapasitas bandar udara

Kapasitas *airside* area dari suatu bandar udara tergantung dari banyak faktor. Beberapa di antara faktor tersebut konstan terhadap waktu, namun yang lainnya seringkali berubah terhadap waktu. Faktor tetap yang paling penting dari kapasitas *airside* area adalah desain dari bandar udara itu sendiri yang digambarkan dengan penomoran dan arah *runway*, taxi-ways, instrumentasi *runway*, dan lain-lain.

Faktor yang tidak tetap atau *variable* ada beberapa jenis, misalnya kondisi cuaca, dan tipe serta ukuran pesawat terbang yang beroperasi. Namun faktor yang tidak tetap atau tidak stabil yang paling mempengaruhi kapasitas *airside* area suatu bandar udara adalah kondisi meteorologi yang berlaku di bandar udara itu sendiri (visibilitas, arah angin). Kondisi meteorologi tersebut dapat menentukan tipe dan intensitas dari operasi pesawat terbang yang dapat diterima dengan tidak melanggar peraturan separasi dari ATC (*Air traffic control*). Berdasarkan keadaan cuaca yang berlaku di ruang udara, perhitungan kapasitas pada bandar udara dibedakan menjadi dua kondisi, yaitu IMC (*Instrumental Meteorological Conditions*) dan VMC (*Visual Meteorological Conditions*). Kondisi tersebut menentukan tipe aturan separasi antar pesawat terbang yang dilakukan oleh ATC.

Karakteristik tertentu suatu pesawat terbang yang menggunakan bandar udara merepresentasikan faktor lain yang juga mempengaruhi kapasitas '*ultimate*' dari *airside* area. Pesawat terbang dapat dibedakan berdasarkan MTOW (*Maximum Take off Weight*), kecepatan *approach/departure*, waktu penggunaan *runway* saat *landing* dan/atau *take-off*, dan lain-lain. Dalam kondisi

cuaca yang stabil (baik IMC atau VMC) campuran *traffic* yang beraneka ragam terdiri dari pesawat yang memiliki berat yang berbeda dan aturan permintaan kecepatan minimal yang berbeda untuk memisahkan antar pesawat terbang saat *landing* atau *take-off*. Contohnya, dalam kondisi IMC, ICAO merekomendasikan penggunaan peraturan separasi berdasarkan jarak atau *distance-based* antara pesawat terbang tertentu pada saat *landing sequence* pada tabel 2.2

Tabel 2. 2 Standar Separasi untuk *Landing* (IFR – Instrumental Flight Rules)

<i>Leading Aircraft</i> (nm)	<i>Trailing aircraft</i> (nm)		
	Light	Medium	Heavy
Light	3	3	3
Medium	4	3	3
Heavy	6	5	4

Peraturan separasi *distance-based* pada Tabel 2.2 dapat diubah menjadi peraturan separasi berdasar waktu atau *time-based* dengan memasukkan kecepatan *approach* pesawat terbang dalam perhitungan. Perhitungan tersebut menghasilkan pengkategorian pesawat kedalam lima kriteria kelas *landing* yang ditunjukkan pada Tabel 2.3. Kecepatan yang dimaksud adalah kecepatan *threshold* dimana pada perhitungan-perhitungan pada kapasitas bandar udara diasumsikan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan dari kecepatan *landing* sebenarnya dengan kecepatan *threshold*.

Tabel 2. 3 Klasifikasi Pesawat Terbang menurut Kecepatan *Landing* (kondisi IMC)

Kelas Pesawat Terbang	Kecepatan (knots)
A	70-90
B	91-120
C	121-140
D	141-165
E	diatas 165

Setiap pesawat udara akan menghasilkan *wake vortex* sebagai fungsi dari gaya angkat yang dihasilkan, hal ini dapat mempengaruhi pesawat lain yang beroperasi di belakangnya dan dapat menimbulkan kecelakaan. Oleh karena itu, pesawat terbang juga diklasifikasikan ke dalam kelompok *wake vortex* menurut MTOW masing-masing pesawat. Untuk membantu meningkatkan pelayanan dari ATC dalam menentukan jarak separasi yang sesuai antar pesawat terbang, pengelompokan pesawat terbang dibedakan berdasarkan kecepatan *approach* dan beratnya. Maka, pengelompokan kelas-kelas pesawat terbang pada Tabel 2.3 adalah sebagai berikut :

- Kelas A dan B termasuk kategori light aircraft dengan $MTOW \leq 7000$ kg. Kelompok ini merupakan pesawat dengan mesin piston kecil dan mesin turboprop yang terkecil. Contoh : Dornier 228, Cessna Citation, dll.
- Kelas C termasuk kategori medium aircraft dengan MTOW antara 7000 sampai 136.000 kg. Kelompok ini mempunyai cakupan jenis yang cukup luas, mulai dari pesawat dengan mesin turboprop seperti ATR 42 sampai

pesawat klasik DC9, dan yang lebih modern yaitu pesawat A319, A320, B737, B757, dll.

- Kelas D dan E termasuk kategori pesawat heavy aircraft dengan MTOW diatas 136.000 kg. Yang termasuk dalam kategori ini contohnya B747, B767, B777, A300, A340, DC10, MD11, L1011, dll.

2.6.3 Kapasitas *Runway* dan Pendekatan Kapasitas *Airspace*.

Pembahasan mengenai formulasi kapasitas *runway* ini diperlukan sebagai dasar pendekatan perhitungan kapasitas *airspace*. Pada bagian ini akan dibahas mengenai parameter – parameter penting yang akan digunakan sebagai perhitungan dan juga mengenai metoda perhitungan kapasitas *runway*.

kapasitas yang dimaksud di sini digambarkan sebagai kemampuan fisik maksimum dari suatu sistem *runway* untuk memproses pesawat terbang. Kemampuan fisik tersebut merupakan kapasitas *ultimate* atau tingkat operasi maksimum dari pesawat terbang dalam suatu kondisi tertentu, selain itu kemampuan fisik tersebut tidak tergantung dari tingkat *delay* rata – rata pesawat terbang.

Jika besar, sifat – sifat, dan pola dari *demand* tetap, maka *delay* hanya dapat dikurangi dengan cara meningkatkan kapasitas. Namun jika *demand* dapat dimanipulasi untuk menghasilkan suatu pola yang lebih teratur, maka *delay* dapat dikurangi tanpa perlu meningkatkan kapasitas. Jadi, mengestimasi kapasitas merupakan langkah yang perlu dilakukan dalam menentukan *delay* pesawat terbang.

2.6.3.1 Formulasi *ultimate capacity runway* menggunakan teori ruang dan waktu

Pada tahun 1960 sebuah pemodelan matematis untuk mengestimasi kapasitas *runway* dikembangkan oleh FAA bersama dengan Airborne Institute Laboratory. Pemodelan tersebut dikembangkan dengan menggunakan teori antrian *steady – state*. Teori antrian *steady – state* menganggap bahwa suatu sistem antrian sudah mencapai kondisi normal atau *steady*. Oleh karena itu, pada operasi *steady state* karakteristik dari suatu sistem antrian tidak berubah terhadap waktu, misalnya pada kondisi *demand* yang sudah kontinu. Pemodelan ini nantinya akan diasumsikan dapat digunakan untuk menghitung kapasitas pada *airway* pada bagian selanjutnya karena keduanya mempunyai karakteristik yang hampir sama. Pada dasarnya pemodelan matematis ini mewakili dua kondisi, yaitu *runway* melayani hanya *arrival* atau *departure* saja atau *runway* yang digunakan untuk operasi campuran atau *mixed operations*.

Pada *runway* yang hanya digunakan untuk *arrival* atau *departure*, digunakan pemodelan yang simpel, yaitu antrian tipe Poisson di mana yang datang pertama akan dilayani terlebih dahulu, atau yang disebut *first come first serve*. *Demand* process untuk *arrival* atau *departure* digambarkan melalui distribusi Poisson dengan tingkat *arrival* atau *departure* rata – rata yang tertentu. Distribusi Poisson menggambarkan distribusi diskrit dari suatu peluang, di mana peluang sejumlah kejadian yang terjadi dalam waktu tertentu diketahui tingkat rata – ratanya dan tidak tergantung waktu dari kejadian terakhir yang berlangsung. Kebanyakan sistem antrian, seperti *arrival* dan *departure* digambarkan dengan dengan distribusi Poisson, di mana *arrival* dan *departure* adalah acak dan

tidak saling mempengaruhi. Oleh karena itu, *pemodelan first come – first serve* menggambarkan distribusi Poisson di mana pada suatu sistem antrian, kejadian yang satu tidak mempengaruhi kejadian yang lain, dalam hal ini *arrival* atau *departure* tidak saling mempengaruhi. *Runway service process* yaitu distribusi layanan umum yang ditunjukkan melalui mean *service time* dan standar deviasi dari mean *service time*. Untuk operasi campuran atau mixed, jika *runway* digunakan baik untuk *take-off* maupun *landing*, proses yang terjadi akan lebih rumit sehingga dikembangkan model preemptive spaced-arrivals, di mana operasi *departure* disisipkan diantara dua operasi *arrival*. Pada pemodelan tersebut penggunaan *runway* lebih mengutamakan *arrival* dibanding *departure* (Horonjeff, 2009).

- **Formulasi matematis *ultimate capacity***

Pemodelan ini digunakan untuk menghitung jumlah maksimum pesawat terbang yang dapat beroperasi pada sistem *runway* dalam suatu jangka waktu tertentu dengan adanya *demand* layanan yang kontinu. Pada pemodelan ini kapasitas sama dengan kebalikan dari *weighted-service time* dari semua pesawat terbang yang dilayani. Sebagai contoh jika *weighted-service time* sebesar 90 detik, maka kapasitas suatu *runway* adalah satu operasi setiap 90 detik, atau 40 operasi per jam. Pemodelan ini menganggap *approach path* yang biasa digunakan merupakan suatu kesatuan dengan sistem *runway*. *Runway service time* dapat didefinisikan sebagai separasi waktu *arrival* di udara, atau *interarrival time*, atau sebagai *runway occupancy time*, tergantung pada yang mana lebih besar.

• Pengembangan model untuk *Arrival Only*

Kapasitas suatu sistem *runway* yang digunakan hanya untuk *arrival* pesawat terbang dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut.

- Campuran pesawat, yang biasanya ditandai dengan pembagian pesawat terbang ke dalam beberapa kelas sesuai dengan kecepatan *approach*-nya.
- Kecepatan *approach* dari kelas – kelas pesawat terbang yang ada.
- Panjang *common approach path* dari keseluruhan *gate* sampai *runway threshold*.
- Peraturan separasi *air traffic* minimum atau separasi *practical observed* bila tidak ada pengaplikasian peraturan.
- Besarnya error waktu *arrival* pada titik masuk sampai *common approach path*, *entry gate*, dan variasi kecepatan pesawat terbang pada *common approach path*.
- Penentuan probabilitas dari pelanggaran separasi *air traffic* minimum yang dianggap dapat diterima atau yang dapat dicapai.
- Rata – rata *runway occupancy time* dari berbagai variasi kelas pesawat terbang campuran dan besarnya variasi pada waktu tersebut.

• Kasus Error-Free

Pesawat udara dikelompokkan menjadi beberapa kelas kecepatan tertentu (V_k) untuk memudahkan komputasi dengan akurasi yang tinggi. Untuk memperoleh *arrival weighted service time* dibutuhkan formulasi matriks yang menggambarkan waktu kedatangan pesawat terbang pada *runway threshold*. Dengan penggunaan matriks tersebut dan persentase kelas – kelas campuran pesawat

terbang yang ada, maka dapat dihitung besarnya *weighted service time*. Kapasitas suatu *runway* merupakan kebalikan dari *weighted service time*.

Error free matrix yang terdiri dari elemen – elemen m_{ij} ditunjukkan sebagai $[M_{ij}]$, interval waktu pada *runway threshold* dari pesawat terbang dengan kecepatan dari kelas i yang kemudian diikuti dengan pesawat terbang dari kelas j , dengan mengasumsikan masing – masing pesawat terbang tiba tepat waktu (tanpa kesalahan atau error free)

$$\Delta T_{ij} = T_j - T_i \quad (2.1)$$

dimana

ΔT_{ij} = separasi waktu sebenarnya pada *runway threshold* untuk dua *arrival* yang berurutan, pesawat terbang dengan kelas kecepatan i diikuti dengan pesawat terbang dengan kelas kecepatan j .

T_i = waktu dari pesawat terbang *leading*, i , melewati *runway threshold*.

T_j = waktu dari pesawat terbang *trailing*, j , melewati *runway threshold*.

m_{ij} = minimum separasi error free *interarrival* pada *runway threshold*, yang sama dengan ΔT_{ij} pada kasus error free.

Kemudian digambarkan pula p_i sebagai persentase pesawat terbang dari campuran kelas i dan p_j sehingga merupakan persentase pesawat terbang dari campuran kelas j ,

$$E\Delta T_{ij} = \sum [p_{ij}] [M_{ij}] \quad (2.2)$$

dimana

$E(\Delta T_{ij})$ = nilai *service time* yang diharapkan, atau waktu *interarrival*, pada *Runway threshold* untuk campuran pesawat terbang *arrival*.

P_{ij} = probabilitas dimana pesawat terbang *leading* i akan diikuti pesawat terbang *trailing* j kemudian.

$[p_{ij}]$ = matriks dari probabilitas tersebut.

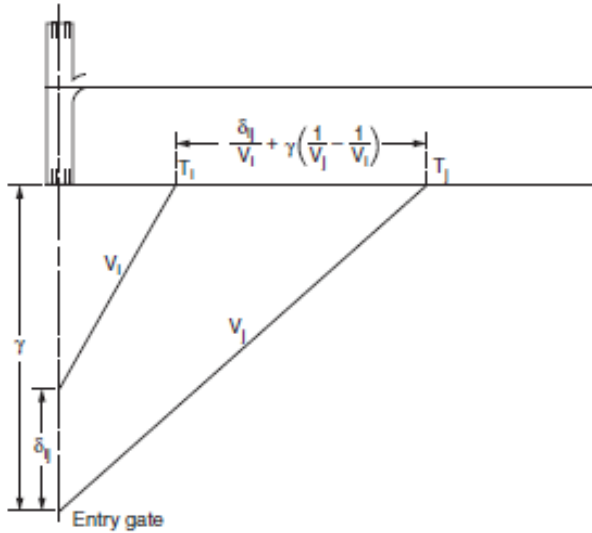
$[M_{ij}]$ = matriks dari separasi minimum *interarrival* m_{ij} .

Kapasitas dari *arrival* diberikan sebagai berikut :

$$Ca = \frac{1}{E \Delta T_q} \quad (2.3)$$

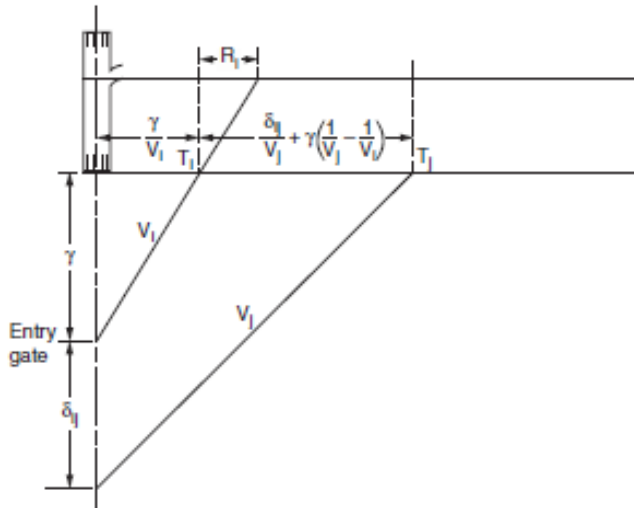
di mana Ca merupakan kapasitas *runway* untuk memproses campuran pesawat terbang tersebut.

Untuk memperoleh waktu *interarrival* pada *runway threshold*, perlu diperhatikan kecepatan dari pesawat terbang *leading*, V_i , apakah lebih besar atau lebih kecil dari kecepatan pesawat terbang *trailing*. Separasi pada *runway threshold* akan berbeda pada tiap – tiap kasus pasangan kecepatan $V_i - V_j$. Kondisi tersebut dapat diilustrasikan melalui diagram *space time* pada Gambar 2.4 sampai dengan 2.6



Gambar 2. 4 Diagram *space time* untuk *error-free interarrival spacing* pada *closing case* saat $V_i \leq V_j$

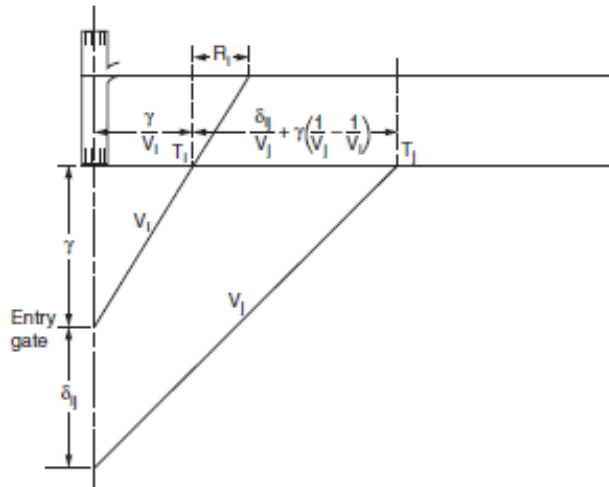
Sumber : *Planning and Design of Airports*, Robert Horonjeff, 2010



Gambar 2. 5 Diagram *space-time* untuk *error-free interarrival spacing* pada *opening case* saat $V_i > V_j$ untuk pengaturan pesawat terbang dari *entry gate* menuju *arrival threshold*

Sumber : *Planning and Design of Airports*, Robert

Horonjeff, 2010



Gambar 2. 6 Diagram *space-time* untuk *error-free interarrival spacing* pada *opening case* saat $V_i > V_j$ untuk kedua buah pesawat terbang yang dipisahkan di sekitar *entry gate*

Sumber : *Planning and Design of Airports*, Robert Horonjeff, 2010

Pada diagram tersebut digunakan notasi – notasi sebagai berikut :

γ = panjang dari *common approach path*

δ = jarak separasi minimum yang diijinkan antara dua pesawat terbang, pesawat terbang *leading* i dan pesawat terbang *trailing* j, di manapun selama berada di *common approach path*.

V_i = *approach speed* dari pesawat terbang *leading* kelas k

V_j = *approach speed* dari pesawat terbang *trailing* kelas k

R_i = *runway occupancy time* dari pesawat terbang *leading*.

a. *Closing Case* ($V_i \leq V_j$)

Pemodelan pada kasus ini digunakan pada saat *approach speed* kecepatan pesawat terbang *leading* lebih kecil dari kecepatan pesawat terbang *trailing*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Pada kasus closing, separasi antar pesawat terbang sepanjang waktu akan semakin kecil. Separasi waktu minimum, ΔT_{ij} , yang terjadi pada saat pesawat terbang mencapai *threshold* dituliskan sebagai berikut :

$$\Delta T_{ij} = T_j - T_i + \frac{\delta_{ij}}{V_i} \quad (2.4)$$

Namun, jika *runway occupancy time* dari *arrival* R_i lebih besar daripada separasi di *airborne*, ΔT_{ij} , maka hal itu akan menjadi separasi minimum pada *threshold*.

b. *Opening case* ($V_i \geq V_j$)

Pada kasus ini *approach speed* pesawat terbang *leading* V_i lebih besar dari pesawat terbang *trailing* V_j , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6. Separasi antar kedua pesawat terbang sepanjang waktu akan semakin besar pada kasus opening. Berdasarkan Persamaan 2.5, separasi waktu antar pesawat terbang saat pesawat mencapai *threshold* adalah sebagai berikut :

$$\Delta T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{V_i} + \left[\frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} \right] \quad (2.5)$$

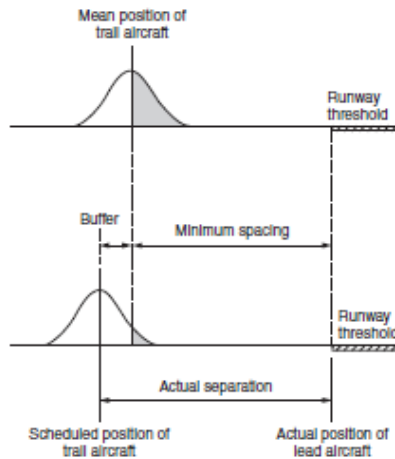
Saat pengaturan dilakukan untuk mempertahankan separasi antara kedua pesawat terbang setelah pesawat terbang *leading* melewati *entry gate*, seperti pada Gambar 3.3, maka persamaannya adalah sebagai berikut :

$$\Delta T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{v_j} + \left[\frac{1}{v_j} - \frac{1}{v_i} \right] \quad (2.6)$$

Perlu diperhatikan bahwa satu – satunya perbedaan yang terdapat dari Persamaan (2.5) dan Persamaan (2.6) hanyalah pada bagian pertama persamaan tersebut, dimana V_i dan V_j saling menggantikan.

• Mempertimbangkan Posisi *Error*

Pemodelan pada kasus pertama menggambarkan situasi sistem yang sempurna tanpa ada error. Untuk mengatasi masalah *position error* perlu ditambahkan *buffer time* pada separasi waktu minimum untuk memastikan bahwa separasi minimum untuk *interarrival* tetap dapat dipertahankan. Ukuran *buffer* tergantung dari peluang pelanggaran peraturan separasi minimum yang dapat diterima.



Gambar 2. 7 Ilustrasi dari *buffer spacing* pada separasi sebenarnya antara Pesawat terbang saat memperhitungkan adanya *position error*

Sumber : *Planning and Design of Airports*, Robert Horonjeff, 2010

Pada Gambar 2.7 di atas dapat dilihat posisi dari pesawat terbang *trailing* saat mencapai *runway threshold*. Pada bagian atas dari ilustrasi tersebut, pesawat terbang *trailing* berurutan, sehingga posisi rata – ratanya ditentukan dari separasi minimum antara pesawat terbang *leading* dan *trailing*.

Namun, jika posisi pesawat terbang merupakan variabel yang acak, akan ada persamaan peluang posisi pesawat terbang *trailing* berada baik di depan maupun belakang *schedule*. Pada umumnya, jika di depan *schedule* maka kriteria separasi minimum akan dilanggar. Jika *position error* terdistribusi normal, maka daerah yang

diarsir dari kurva distribusi normal akan sesuai dengan peluang pelanggaran peraturan separasi minimum sebesar 50%. Oleh karena itu untuk mengurangi peluang pelanggaran separasi minimum, pesawat udara harus dijadwalkan untuk tiba pada posisi tersebut pada saat yang lebih kemudian, dengan menciptakan *buffer* pada kriteria separasi minimum, seperti yang terlihat pada bagian bawah ilustrasi Gambar 2.7. Pada kasus ini pelanggaran separasi hanya terjadi jika pesawat udara berada jauh di depan jadwal, sehingga peluang melewati batas akan semakin kecil yang ditunjukkan pada bagian yang diarsir.

Dalam kenyataannya, *air traffic controllers* menjadwalkan pesawat terbang dengan sudah memperhitungkan *buffer*, sehingga pelanggaran dari peraturan separasi minimum berada pada level yang dapat diterima.

Pada pemodelan *closing case*, nilai *buffer* dianggap konstan. Pada *opening case*, *buffer* tidak perlu berupa nilai yang konstan dan biasanya nilainya lebih kecil dibanding pada *closing case*. Pemodelan untuk *buffer* ditandai dengan matriks dari waktu *buffer* [B_{ij}] untuk pesawat terbang kelas i diikuti dengan pesawat terbang kelas j . Matriks ini ditambahkan pada matriks *error free* untuk menentukan matriks waktu *interarrival* yang sebenarnya dari kapasitas yang akan dicari. Hubungannya ditunjukkan sebagai berikut :

$$E(\Delta T_{ij}) = \sum [P_{ij}][M_{ij} + B_{ij}] \quad (2.7)$$

Dimana :

$E(\Delta T_{ij})$	= Nilai perkiraan waktu antar kedatangan
p_{ij}	= Probabilitas kedatangan pesawat i diikuti oleh pesawat j
$[p_{ij}]$	= Matrik dari p_{ij}
$[M_{ij}]$	= Matrik separasi waktu antar kedatangan

a. Closing Case

Pada kasus ini *approach speed* dari pesawat terbang *leading* lebih kecil daripada pesawat terbang *trailing*, dan separasinya ditunjukkan pada Gambar 2.4. ΔT_{ij} adalah waktu minimum sebenarnya antara pesawat terbang kelas i dan kelas j, dan diasumsikan *runway occupancy* lebih kecil dari ΔT_{ij} . Mean atau nilai yang diinginkan dari ΔT_{ij} ditunjukkan dengan $E(\Delta T_{ij})$ dan e_0 adalah random error dengan mean nol yang terdistribusi normal dengan standar deviasi σ_0 . Untuk tiap pasangan *arrival*, $\Delta T_{ij} = E(\Delta T_{ij}) + e_0$. Untuk mencegah terjadinya pelanggaran jarak separasi minimum, nilai dari ΔT_{ij} harus meningkat sesuai jumlah *buffer* b_{ij} . Dengan demikian, didapatkan persamaan :

$$\Delta T_{ij} = m_{ij} + b_q \quad (2.8)$$

Dan

$$\Delta T_{ij} = m_{ij} + b_q + e_0 \quad (2.9)$$

Pada kasus ini, separasi jarak minimum pada *runway threshold* diberikan pada Persamaan (2.4). Tujuan dari pemodelan kasus ini adalah untuk mencari nilai *buffer*

yang diperlukan pada probabilitas pelanggaran p_v tertentu, sehingga

$$P_v = \text{Prob} \left(\Delta T_{ij} < \frac{\delta_{ij}}{v_j} \right) \quad (2.10)$$

Atau

$$P_v = \text{Prob} \left(\Delta T_{ij} < \frac{\delta_{ij}}{v_j} + b_{ij} + e_o < \frac{\delta_{ij}}{v_j} \right) \quad (2.11)$$

yang disederhanakan menjadi

$$P_v = \text{Prob} (b_{ij} < -e_o) \quad (2.12)$$

Dengan menggunakan asumsi bahwa error terdistribusi normal dengan standar deviasi σ_0 , nilai dari *buffer* dapat diperoleh :

$$b_{ij} = q_o \sigma_0 \quad (2.13)$$

b. Opening Case

Pada *opening case* pesawat terbang *leading* mempunyai *approach speed* yang lebih besar daripada pesawat terbang *trailing*. Separasi yang terjadi antara kedua pesawat terbang meningkat pada saat di *entry gate*. Pemodelan untuk *opening case* ini berdasarkan dari perkiraan bahwa pesawat terbang *trailing* harus dijadwalkan tidak kurang dari jarak δ_{ij} dibelakang pesawat terbang *leading* saat pesawat terbang *leading* berada di *entry gate*, namun diasumsikan pula bahwa separasi yang tepat dilakukan oleh *air traffic control* hanya pada saat pesawat terbang *trailing* mencapai *entry gate*. Asumsi ini terlihat pada Gambar 2.4 Untuk

kasus ini probabilitas dari pelanggaran merupakan probabilitas dari pesawat terbang *trailing* sampai di *entry gate* sebelum pesawat terbang *leading* berada pada jarak tertentu di dalam *entry gate*. Hal ini dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$P_v = \text{Prob} \left(T_j - \frac{\delta_{ij}}{v_j} < T_i - \frac{g}{v_i} \right) \quad (2.14)$$

Atau

$$P_v = \text{Prob} \left[T_j - T_i < \frac{\delta_{ij}}{v_j} + \left(\frac{g}{v_j} - \frac{g}{v_i} \right) \right] \quad (2.15)$$

Dengan menggunakan Persamaan (2.6) dan persamaan ini untuk menghitung separasi sebenarnya pada *arrival threshold* dan untuk mempermudah, diperoleh:

$$b_{ij} = \sigma_o q_v^{-\delta_{ij}} \left(\frac{1}{v_j} - \frac{1}{v_i} \right) \quad (2.16)$$

Jadi, pada *opening case* nilai dari *buffer* berkurang dari yang dibutuhkan pada *closing case*, seperti yang terlihat pada Gambar 3.4. Nilai negatif dari *buffer* tidak diijinkan, sehingga *buffer* merupakan suatu angka positif yang tidak terbatas dengan minimum nilai nol. Matriks dari *buffer* [B_{ij}] untuk tiap pasang pesawat terbang dengan *interarrival buffer* b_{ij} kemudian dapat ditentukan.

• Model *Departure Only*

Pesawat terbang yang akan *departure* biasanya diperbolehkan untuk *take-off* dengan mempertahankan interval waktu minimum antara pesawat terbang yang *departure* secara berurutan, maka waktu *interdeparture* (t_d), dan kapasitas *runway* untuk *departure only* C_d dapat dihitung sebagai berikut :

$$C_d = \frac{3600}{E(t_d)} \quad (2.17)$$

dan

$$E(t_d) = \sum [P_{ij}] [t_d] \quad (2.18)$$

Dimana

$E(t_d)$ = nilai *service time* yang diharapkan, atau waktu *interdeparture*.

$[p_{ij}]$ = matriks dari probabilitas pesawat terbang *departing leading* i akan diikuti

$[t_d]$ = matriks waktu *interdeparture*. *runway threshold* untuk campuran pesawat terbang *departure*. oleh pesawat terbang *departing trailing* j .

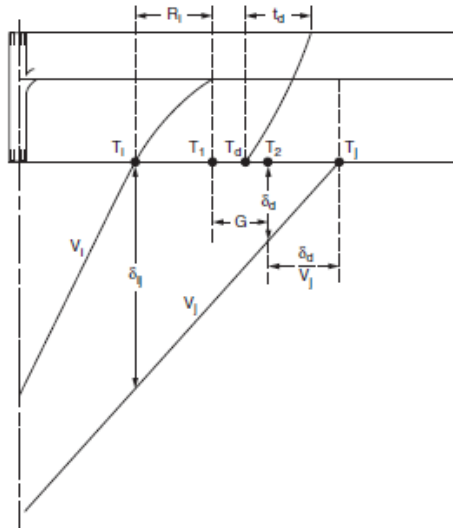
• Pengembangan Model untuk *Mixed Operations*

Pemodelan yang dikembangkan oleh Airborne Instruments Laboratory ini harus mengikuti empat aturan operasi, yaitu :

- *Arrival* selalu diprioritaskan daripada *departure*.
- Hanya satu pesawat terbang yang dapat memakai *runway* pada suatu waktu.

- *Departure* tidak boleh direlease jika *arrival* yang selanjutnya berjarak kurang dari yang ditentukan dari *runway threshold*, biasanya 2 nmi pada kondisi IFR.
- *Departure* yang berurutan diberi jarak pada separasi waktu minimum yang sama dengan *departure service time*.

Diagram *space – time* pada Gambar 2.8 dapat menggambarkan urutan dari mixed operation sesuai dengan peraturan yang berlaku di atas. Pada gambar tersebut T_i adalah waktu dari pesawat terbang *leading* i dan pesawat terbang *trailing* j , T_j melewati *arrival threshold*, δ_{ij} adalah separasi minimum antara *arrival*, T_1 adalah waktu saat pesawat terbang *arrival* telah melewati *runway*, T_d adalah waktu saat pesawat terbang *departure* memulai *take-off roll*, δ_d merupakan jarak minimum suatu pesawat terbang *arrival* dari *threshold* sampai direlease untuk *departure*, T_2 adalah waktu dimana *departure* dapat dirilis, R_i untuk *arrival*, G merupakan *gap* waktu dimana *departure* sudah dapat direlease, dan t_d adalah *service time* yang ditentukan untuk *departure*. merupakan *runway occupancy time*



Gambar 2. 8 Diagram *space-time* untuk *error-free interarrival spacing* pada *mixed operation* di sistem *runway*

Sumber : *Planning and Design of Airports*, Robert Horonjeff, 2010

Karena *arrival* diprioritaskan dibanding *departure*, maka pesawat terbang *arrival* diurutkan dengan separasi minimum untuk *interarrival* dan pesawat terbang yang *departure* tidak boleh direlease hingga ada *gap* G antara *arrival*. Jadi, dapat dituliskan sebagai berikut :

$$G = T_2 - T_1 \geq 0 \quad (2.19)$$

Namun diketahui bahwa

$$T_1 = T_i + R_i \quad (2.20)$$

Dan

$$T_2 = T_i - \frac{\delta d}{V_j} \quad (2.21)$$

Sehingga dapat dituliskan,

$$T_2 - T_1 \geq (T_j - \frac{\delta d}{V_j}) - (T_i + R_i) \geq 0 \quad (2.22)$$

Untuk merelease satu pesawat terbang *departure* di antara pasangan pesawat terbang yang *arrival* didapat :

$$T_j - T_i \geq R_i + \frac{\delta d}{V_j} \quad (2.23)$$

Melalui perluasan dari persamaan ini, dapat dilihat dengan jelas bahwa waktu *interarrival* yang diperlukan $E(\Delta T_{ij})$ untuk merelease n_d *departure* antara pasangan *arrival* diformulasikan sebagai berikut

$$E(\Delta T_{ij}) \geq E(R_i) + E(\frac{\delta d}{V_j}) + (n_d - 1) (E(t_d)) \quad (2.24)$$

Perlu diperhatikan bahwa bagian akhir dari persamaan tersebut akan bernilai nol hanya jika pesawat terbang *departure* yang akan disisipkan antara pasangan *arrival* hanya satu buah. Untuk menghitung pelanggaran dari *gap*

spacing dapat dimasukkan error σ_{Gqv} pada persamaan tersebut.

Kapasitas untuk mixed operation diformulasikan sebagai berikut

$$C_m = \frac{1}{E(\Delta Tij) + (\sum_{nd} p_{nd})} \quad (2.25)$$

Dimana :

C_m = kapasitas *runway* untuk memproses mixed operation

$E(\Delta Tij)$ = nilai *interarrival time* yang diinginkan

N_d = jumlah *departure* yang dapat direlease pada tiap *gap* antara *arrival*

p_{nd} = probabilitas merelease n_d *departure* pada tiap *gap*

2.6.3.2 Pendekatan metode perhitungan kapasitas *runway* untuk perhitungan kapasitas *airway*

Setelah memahami metode perhitungan kapasitas untuk *runway*, selanjutnya diperlukan suatu metode untuk menghitung kapasitas dari *airway* yang menjadi pokok bahasan penulisan tugas akhir ini.

Pada dasarnya sistem *runway* dan sistem *airway* hampir sama, keduanya melayani pesawat terbang dalam suatu ruang yang terbatas. Namun untuk sistem *runway*, pelayanannya adalah menyediakan tempat untuk pesawat terbang *take off* dan *landing*. Sedangkan untuk sistem *airway* menyediakan tempat untuk pesawat terbang melakukan fasa – fasa penerbangan selain *take off* dan *landing*, misalnya *cruise*, *manuever*, *approach*, maupun *en-*

route. Selain itu, sistem *runway* berada di *ground* dan sistem *airway* berada di *airspace*. Perbedaan mendasar dari sistem *runway* dan *airway* adalah sistem *runway* hanya dapat melayani satu pesawat terbang per satuan waktu, sedangkan pada sistem *airway* dapat melayani beberapa pesawat terbang sekaligus, sepanjang separasi minimum dapat dipertahankan.

Hal – hal yang perlu diperhatikan dalam mendekati metode yang sudah ada adalah harus ditentukan parameter – parameter yang penting dari setiap metode. Selain itu ditentukan asumsi yang akan digunakan untuk pendekatan metode yang sudah ada tersebut.

- **Pendekatan Formulasi Matematis dari *Ultimate Capacity* untuk Sistem *Airway***

Pendekatan pemodelan untuk sistem *airway* didapat dari formulasi matematis dari *ultimate capacity* untuk sistem *runway*. Pemodelan yang didapat kemudian akan digunakan untuk menghitung jumlah maksimum pesawat terbang yang dapat beroperasi pada sistem *airway* yang dapat mengakomodasinya dalam suatu jangka waktu tertentu dengan *demand* layanan yang kontinu.

- **Model *Arrival Only* (Kasus *Error-Free*)**

Parameter – parameter penting yang menentukan besarnya kapasitas *ultimate* dari sistem *runway* untuk model *arrival only* sebagai kasus *error free* adalah sebagai berikut :

γ = panjang dari *common approach path*

δ = jarak separasi minimum yang diijinkan antara dua pesawat terbang, pesawat terbang *leading* i dan pesawat terbang *trailing* j , dimanapun selama berada di *common approach path*.

V_i = *approach speed* dari pesawat terbang *leading* kelas k

- V_j = *approach speed* dari pesawat terbang *trailing* kelas k
 R_i = *runway occupancy time* dari pesawat terbang *leading*.
 ΔT_{ij} = separasi waktu sebenarnya pada *runway threshold* untuk dua *arrival* yang berurutan pesawat terbang dengan kelas kecepatan i diikuti dengan pesawat terbang dengan kelas kecepatan j.
 $E(\Delta T_{ij})$ = nilai *service time* yang diharapkan, atau waktu *interarrival*, pada *runway threshold* untuk campuran pesawat terbang *arrival*.

Parameter – parameter tersebut selanjutnya dicari kesamaannya dengan sistem pada *airway*, sehingga menghasilkan parameter untuk pendekatan perhitungan kapasitas *ultimate* untuk sistem *airway*. Parameter – parameter tersebut adalah sebagai berikut:

- γ = panjang *airway* mulai dari VOR terdekat sampai titik awal *common approach path* untuk *arrival*, atau panjang *airway* mulai dari akhir *common approach path* sampai VOR/DME terdekat.
 δ = jarak separasi minimum yang diijinkan antara dua pesawat terbang, pesawat terbang *leading* i dan pesawat terbang *trailing* j, dimanapun selama berada di *airway*
 V_i = *approach speed* dari pesawat terbang *leading* kelas k
 V_j = *approach speed* dari pesawat terbang *trailing* kelas k
 R_i = *common approach path occupancy time* dari pesawat terbang *leading*, diasumsikan berdasarkan pengkategorian kecepatan pesawat terbang.

ΔT_{ij} = separasi waktu sebenarnya pada *common approach path* untuk dua *arrival* yang berurutan, pesawat terbang dengan kelas kecepatan *i* diikuti dengan pesawat terbang dengan kelas kecepatan *j*. Separasi waktu ini ditentukan berdasarkan peraturan separasi yang berlaku pada *common approach path*.

$E(\Delta T_{ij})$ = nilai *service time* yang diharapkan, atau waktu *interarrival*, pada *common approach path* untuk campuran pesawat terbang *arrival*.

• **Model Arrival Only (Kasus Error Position)**

Pada pendekatan perhitungan kapasitas *ultimate* sistem *airway*, hal yang perlu diperhatikan adalah adanya ukuran *buffer time* yang penting digunakan untuk mempertahankan separasi minimum *interarrival*. Nilai *buffer* pada sistem *airway* ini hampir sama dengan nilai *buffer* pada sistem *runway*, hanya saja perhitungan nilai *buffer* pada sistem *airway* dilakukan di *airway* untuk route segment tiap – tiap *arrival*.

• **Model Departure Only**

Pada pemodelan perhitungan kapasitas *ultimate* untuk model *departure only*, parameter penting yang harus diperhatikan adalah besarnya interval waktu antar pesawat terbang yang *departure* secara berurutan. Pemodelan perhitungan kapasitas *ultimate* untuk model *departure only* pada *airway* dapat diasumsikan sama untuk pemodelan pada *runway*. Hal tersebut dikarenakan besarnya kapasitas *ultimate* untuk model *departure only* pada *runway* hanya dipengaruhi oleh probabilitas pesawat terbang *departing leading i* yang diikuti oleh pesawat terbang *departing trailing j* dan waktu *interdeparture* untuk pesawat terbang *departure*.

• **Perhitungan Kapasitas *Practical* untuk sistem *Airway***

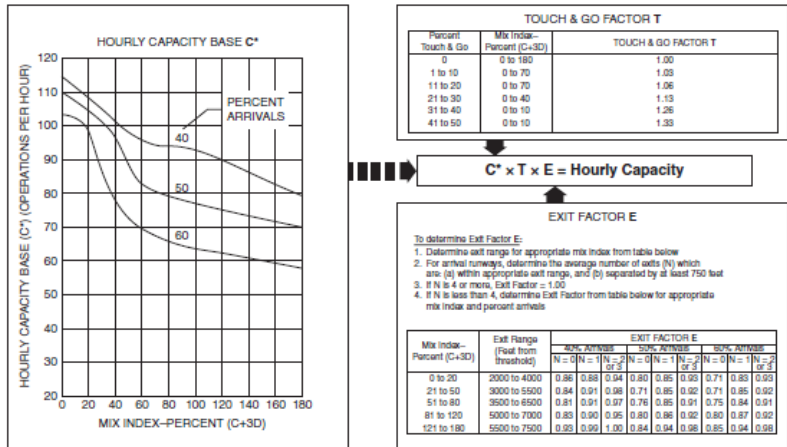
Perhitungan kapasitas praktis untuk sistem *airway* dilakukan dengan cara merata – ratakan *demand* pada jam – jam sibuk tiap hari dalam satu minggu dengan average *delay* sebesar 15 menit dari keseluruhan operasi dalam satu hari tersebut. Average *delay* 15 menit ditentukan sesuai dengan ketentuan *delay* untuk suatu *airline*, yaitu sebesar 15 menit.

2.6.3.3 Kapasitas Jenuh *Runway* Berdasarkan Metode FAA

FAA sudah menyediakan petunjuk penghitungan kapasitas jenuh *runway* dengan komposisi pesawat yang berbeda-beda dan dengan konfigurasi *runway* yang berbeda-beda dalam *Federal Aviation Administration* (FAA) *Advisory Circular* (AC) 150/5060-5, *Airport Capacity and Delay* tahun 1983 dengan revisi tahun 1995 . Ada beberapa variabel yang berpengaruh dalam perhitungan tersebut yaitu :

- Konfigurasi *runway* dan penggunaannya

Variabel utama dalam penghitungan kapasitas *runway* adalah jumlah dan tata letak (layout) dari *runway*, serta penggunaannya untuk kedatangan saja, keberangkatan saja atau campuran. Dalam *Advisory Circular 150/5060-5*, ada sekitar 64 konfigurasi *runway* yang digunakan sebagai dasar penghitungan kapasitas *runway*. Masing-masing konfigurasi mempunyai kapasitas yang berbeda sehubungan dengan jarak pisah aman (*separation*) antar pesawat baik yang berangkat maupun mendarat. Setelah mengetahui konfigurasi *runway* yang akan dihitung maka dapat diketahui grafik seperti contoh pada gambar 2.9, yang akan dijadikan dasar perhitungan.



Gambar 2. 9 Contoh Grafik Penentuan Kapasitas Runway

Sumber : *Planning and Design of Airports*, Robert Horonjeff, 2010

- Campuran pesawat yang beroperasi
Mix Index adalah fungsi matematis yang digunakan dalam penghitungan kapasitas runway untuk mengetahui tingkat pengaruh pesawat berbadan lebar terhadap sistem runway. Hal ini terkait dengan perbedaan kecepatan pesawat saat melakukan pendekatan (*approach*) sehingga waktu yang diperlukan berbeda untuk setiap kelas pesawat, selain itu adalah adanya pengaruh udara yang berputar di belakang mesin pesawat (*wake turbulence*) terutama apabila beroperasi di belakang pesawat berbadan lebar sehingga harus ada jarak yang aman antar pesawat. Semakin besar perbedaan kelas pesawat yang beroperasi, maka semakin besar jarak aman yang diperlukan dan berarti semakin sedikit kapasitas operasi yang dihasilkan.

klasifikasi pesawat dapat dilihat di tabel 2.3. Mix Index dapat diperoleh dengan cara berikut ini

$$MI = C + 3D \quad (2.26)$$

Dimana :

MI = Mix index

C = Persentase pesawat jenis C yang memakai *runway*

D = Persentase pesawat jenis D yang memakai *runway*

- Cuaca

Fenomena cuaca yang berpengaruh terhadap operasi penerbangan terutama di bandar udara adalah *ceiling* (tinggi awan) dan *visibility* (jarak pandang). Terdapat 3 kategori untuk kondisi tersebut, yaitu:

- *Visual Flight Rules* (VFR), tinggi awan di atas 1000 ft dan jarak pandang lebih dari 3 mil.
- *Instrument Flight Rules* (IFR), tinggi awan 670 sampai 1000 ft dan atau jarak pandang 1 sampai 3 mil.
- *Poor Visibility Condition* (PVC) atau kondisi cuaca di bawah minimum, dimana tinggi awan di bawah 670 ft dan atau jarak pandang kurang dari 1 mil.

karena adanya kenyataan bahwa aturan pemisahan pesawat adalah berbeda dalam kondisi VFR dan IFR, yang pertama-tama diperlukan adalah menentukan kondisi tinggi awan dan jarak pandang, atau lebih tepatnya, aturan-aturan pemisahan yang berlaku untuk kondisi-kondisi penerbangan apabila tinggi awan paling rendah 1000 ft dan jarak pandang paling dekat 3 mil. Kondisi ini menghasilkan kondisi VFR. Apabila salah satu atau kedua hal tersebut tidak dipenuhi, maka berlaku kondisi IFR. Tentu saja, semua Bandar Udara mempunyai suatu jangka waktu dimana kondisi IFR berlaku. Oleh karena itu, kapasitas *runway* per jam pada umumnya ditentukan untuk setiap kondisi tersebut.

- Persentase kedatangan

Persentase Kedatangan adalah perbandingan antara jumlah pendaratan dengan seluruh operasi pesawat, yang akan dihitung dengan persamaan 2.27 sebagai berikut:

$$\text{Presentase Kedatangan} = \frac{A+1/2(T)}{A+DA+T} \times 100\% \quad (2.27)$$

Dimana :

A = Jumlah kedatangan pesawat dalam 1 jam

DA = Jumlah keberangkatan pesawat dalam 1 jam

T = Jumlah Touch and Go dalam 1 jam

Semakin besar persentase kedatangan maka akan semakin kecil kapasitas yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan prosedur kedatangan memerlukan waktu yang lebih lama daripada prosedur keberangkatan atau lepas landas pesawat terkait dengan separasi atau jarak pisah aman yang harus disediakan kepada pesawat.

- Konfigurasi *exit taxiway*

Exit factor merupakan faktor yang diakibatkan oleh jumlah *taxiway* dan jarak *exit taxiway* dari awal pendaratan atau keberangkatan pesawat. Hal ini berpengaruh terhadap penghitungan kapasitas, di mana jumlah *taxiway* keluar dari *runway* untuk pendaratan dan keluar dari apron untuk keberangkatan yang lebih banyak akan memperbesar kapasitas *runway*, sedangkan jarak keluar yang sesuai dengan banyak landasan hubung keluar juga akan memperbesar kapasitas yang ada. perhitungan kapasitas *runway* akibat letak *taxiway* dapat dihitung menggunakan persamaan 2.28.

$$C = C_bET \quad (2.28)$$

Dimana :

C = Kapasitas per jam

C_b = Kapasitas ideal/dasar

E = *Exit adjusment factor* untuk jumlah dan lokasi *runway* exit

T = *Touch and go* adjusment factor

2.6.3.4 Letak Exit Taxiway

Letak *exit taxiway* tergantung pada campuran pesawat yang beroperasi, kecepatan *approach* dan touchdown, titik pesawat menyentuh landasan (touchdown), kecepatan pesawat keluar *runway*, rata-rata perlambatan yang dipengaruhi oleh kondisi permukaan *runway*.

Menurut Horonjeff dan McKelvey dalam *Planning and Design of Airports*, berdasarkan pengamatan rata-rata perlambatan untuk pesawat angkutan udara adalah sekitar 5 ft/s². Sedangkan menurut Ashford dan Wright dalam

Airport Engineering, ICAO merekomendasikan rata-rata perlambatan sebesar $1,25 \text{ m/s}^2$ ($4,1 \text{ ft/s}^2$) dan FAA menggunakan rata-rata perlambatan sebesar 5 ft/s^2 .

Jarak exit *taxiway* dari threshold *runway* (D) dapat didekati dengan persamaan 2.29.

$$D = D_{td} + D_e \quad (2.29)$$

Dimana :

D = Jarak dari threshold *runway* ke exit *taxiway*

D_{td} = Jarak dari threshold *runway* ke titik touchdown

D_e = Jarak dari titik touchdown ke exit *taxiway*

Sementara itu, jarak dari titik touchdown ke exit *taxiway* (D_e) dapat didekati dengan persamaan 2.30.

$$D_e = \frac{v_{td}^2 - v_e^2}{2a} \quad (2.30)$$

Menurut Ashford dan Wright dalam *Airport Engineering*, jarak rata-rata dari threshold ke touchdown untuk pesawat turbojet (kategori C dan D) sekitar 1500 ft dan sekitar 1000 ft untuk pesawat lainnya (kategori B). Sementara itu kecepatan touchdown sebesar 164 ft/s untuk pesawat kategori B, 202 ft/s untuk pesawat kategori C dan 237 ft/s untuk pesawat kategori D. Kecepatan pesawat keluar *runway* sekitar 40 mph (59 ft/s) untuk pesawat kecil dan 60 mph (88 ft/s) untuk pesawat besar.

Menurut Horonjeff dan McKelvey dalam *Planning and Design of Airports*, jika diasumsikan bahwa (i) Jarak touchdown ke threshold untuk pesawat angkutan udara adalah 1500 ft sedangkan untuk pesawat twin engine general aviation adalah 1000 ft, (ii) Kecepatan pesawat keluar *runway* untuk kategori high speed exit adalah 60 mph, dan untuk regular exit adalah 15 mph, maka

perkiraan letak exit *taxiway* untuk beberapa tipe pesawat dapat dilihat pada tabel 2.4 berikut :

Tabel 2. 4 Perkiraan Letak Exit Taxiway

Sumber : *Planning and Design of Airports*, Robert Horonjeff, 2010

Type of Aircraft	Touchdown Speed, kn	Exit Speed, mi/h	
		60	15
Small propeller			
GA single engine	60	2,400	1,800
GA twin engine	95	2,800	3,500
Large jet	130	4,800	5,600
Heavy jet	140	6,400	7,100

Dari kedua sumber diatas, maka disimpulkan asumsi yang digunakan dalam perhitungan letak exit *taxiway* untuk pesawat besar (kategori C dan D) adalah :

1. Rata-rata perlambatan 5 ft/s^2
2. Jarak dari threshold ke touchdown 1500 ft.
3. Kecepatan touchdown pesawat kategori C diambil dari nilai yang paling besar antara 130 kts (191 ft/s) dengan 202 ft/s yaitu 202 ft/s.
4. Kecepatan touchdown pesawat kategori D diambil dari nilai yang paling besar antara 140 kts (206 ft/s) dengan 237 ft/s yaitu 237 ft/s.
5. Kecepatan keluar *runway* 60 mph (88 ft/s)

2.6.3.5 *Runway Occupancy Time*

Runway Occupancy Time (ROT) adalah waktu suatu pesawat dalam memakai *runway* (Indah , 2009) secara umum. Ada 2 ROT yaitu :

1. *Runway Occupancy Time Arrival* (ROTA) adalah interval waktu antara pesawat melewati *threshold runway* dan ekor pesawat mengosongkan *runway*.
2. *Runway Occupancy Time Departure* (ROTD) adalah interval waktu antara pesawat melewati *holding stop bar* dan *roda utama pesawat terangkat* dari *runway*.

Waktu pemakaian *runway* (ROT) total oleh sebuah pesawat dapat dihitung secara kasar dengan menggunakan prosedur berikut. ROT dibagi menjadi 4 bagian :

1. Waktu penerbangan dari *threshold runway* sampai roda utama (main gear) menyentuh *runway*.
2. Waktu yang diperlukan oleh roda depan (nose gear) untuk menyentuh *runway* setelah roda utama menyentuh terlebih dahulu.
3. Waktu yang diperlukan untuk mencapai kecepatan exit dari waktu roda depan menyentuh *runway* dan pengereman dilakukan.
4. Waktu yang diperlukan pesawat untuk membelok masuk ke *taxiway* dan mengosongkan *runway*.

Menurut Horonjeff dan McKelvey dalam *Planning and Design of Airports*, untuk komponen pertama dapat diasumsikan bahwa kecepatan touchdown 5 sampai 8 kts lebih lambat daripada kecepatan saat melewati *threshold runway*.. Bagian yang kedua adalah kira-kira 3 detik dan bagian yang ketiga tergantung pada kecepatan pesawat di exit *taxiway*. Besarnya perlambatan di udara kira-kira 2,5 ft/s². Waktu yang diperlukan untuk membelok keluar dari

runway kira-kira 10 detik. Jadi ROT total dalam detik dapat dihitung dengan persamaan 2.31 berikut :

$$R_i = \frac{V_{ot} - V_{td}}{2a_1} + 3 + \frac{V_{td} - V_e}{2a_2} + t \quad (2.31)$$

Dimana :

R_i = *Runway Occupancy Time* (s)

V_{ot} = Kecepatan saat melewati *threshold runway* (ft/s)

V_{td} = Kecepatan saat menyentuh *runway* (ft/s)

V_e = Kecepatan saat keluar *runway* (ft/s)

t = Waktu untuk membelok keluar dari *runway* (s)

a_1 = Perlambatan rata-rata di udara (ft/s²)

a_2 = Perlambatan rata-rata di darat (ft/s²)

Menurut Indah dalam *Studi Performansi Layout Exit Taxiway untuk Mendapatkan Kapasitas Optimum Landas Pacu Utara Bandar Udara Soekarno-Hatta*, oleh karena letak exit *taxiway* pada setiap *runway* berbeda maka nilai t pada persamaan tersebut ditambahkan dengan persamaan berikut :

$$t = \frac{D_{tw} - D}{V_e} \quad (2.32)$$

D_{tw} = Jarak exit *taxiway* dari *threshold runway* yang dapat digunakan (ft)

D = Jarak exit *taxiway* ideal dari *threshold runway* (ft)

V_e = Kecepatan saat keluar *runway* (ft/s)

Oleh karena persamaan 2.31 tidak mempertimbangkan letak exit *taxiway* yang berbeda, maka persamaan tersebut ditambahkan dengan persamaan 2.32.

sehingga, perhitungan *Runway Occupancy Time* total dalam detik menggunakan persamaan 2.33 berikut.

$$R_i = \frac{V_{ot} - V_{td}}{2a_1} + 3 + \frac{V_{td} - V_e}{2a_2} + t + \frac{D_{tw} - D}{V_e} \quad (2.33)$$

Berdasarkan sumber yang ada, disimpulkan asumsi yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

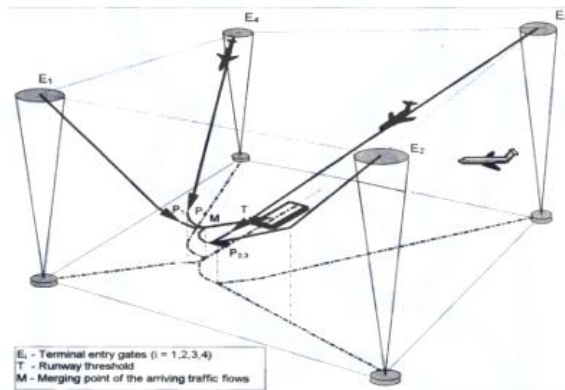
- Selisih kecepatan pesawat saat melewati *threshold runway* dengan kecepatan *touchdown* diambil nilai terbesar antara 5 sampai 8 kts yaitu 8 kts (11,8 ft/s).
- Kecepatan *touchdown* pesawat kategori C adalah 202 ft/s dan pesawat kategori D adalah 237 ft/s.
- Kecepatan keluar *runway* 60 mph (88 ft/s)
- Rata-rata perlambatan di udara 2,5 ft/s²
- Rata-rata perlambatan di darat 5 ft/s².

2.6.4 Permodelan Kapasitas Ruang Udara Janic

Pemodelan ruang udara secara umum terdiri dari bagian – bagian sektorisasi pemodelan kapasitas terminal *airspace*, pemodelan kapasitas *air route*, dan pemodelan kapasitas en-route. Pada tugas akhir ini pembahasan akan dilakukan pada ruang udara di bawah 7500 ft, oleh karena itu pemodelan yang akan digunakan untuk menentukan kapasitas *airspace* di daerah *arrival* dan *departure* Bandara Juanda adalah pemodelan kapasitas terminal *airspace*. Pemodelan kapasitas terminal *airspace* ini dikembangkan oleh Milan Janic dan Tosic pada tahun 1982.

Ruang udara terminal biasanya digambarkan sebagai suatu prisma dengan dasar berbentuk polygon dimana pintu masuk atau *entry gates* ruang ini berada di pojok, seperti yang terlihat pada Gambar 2.9 . *Entry gates*

merupakan titik temu antara ruang udara terminal dan en-route. *Entry gates* ditentukan dengan bantuan peralatan navigasi dimana pesawat terbang *arrival* dapat melakukan holding sebelum masuk terminal *airspace*. Setelah memasuki ruang udara terminal, pesawat terbang akan mengikuti lintasan yang sudah ditentukan dari ruang udara terminal menuju *landing runway*.



Gambar 2. 10 Contoh Skema Tiga Dimensi Pada Ruang Udara Terminal

Lintasan *arrival* dapat ditentukan dengan :

- Bantuan peralatan navigasi yang diletakkan di terminal. Pesawat terbang yang mengikuti lintasan tersebut disebut *Standard Approach Route* (STAR).
- Menggunakan komputer *onboard*. Pesawat terbang dapat mengikuti lintasan melalui navigasi udara 2-D atau 3-D.
- Pesawat terbang mengikuti petunjuk langsung dari ATC. Petunjuk terdiri dari *headings*, ketinggian, dan kemungkinan perubahan kecepatan (*vectoring*)

dimana dapat distandarisasi atau diganti menurut *incoming traffic*.

Sistem ATC selalu meliputi radar monitoring dari lalu lintas udara pada ruang udara terminal. Jangkauan radar memastikan pengawasan separasi horisontal antara pesawat terbang yang *arrival* saat *approach* menuju bandara. Separasi yang digunakan untuk pesawat terbang yang *approach* menuju bandara hanya separasi horisontal. Lalu lintas *arrival* dan *departure* lebih sering dipisahkan dengan menggunakan separasi vertikal.

Pemodelan ini menggunakan asumsi bahwa lintasan *approach* untuk semua pesawat terbang yang *arrival* akan *landing* pada *runway* yang sama. Lintasan *approach* tersebut terdiri dari tiga segmen garis lurus yang bertemu melalui ruang udara terminal menuju sebuah titik yang berada di atas garis tengah perpanjangan *runway*. Hal ini berarti tiap lintasan mempunyai segmen akhir yang merupakan final *approach path*. Selanjutnya diasumsikan kecepatan pesawat terbang yang *arrival* akan semakin berkurang saat mendekati *landing runway*. Kecepatan tersebut akan berubah sepanjang lintasan *approach* setiap kali pesawat terbang meninggalkan satu segmen lintasan dan menuju segmen lintasan lain, contohnya saat pesawat terbang mengganti headings.

Pemodelan ini berdasarkan pemodelan yang dikembangkan oleh Blumstein (1960), yaitu pemodelan kapasitas *runway*. Berdasarkan pemodelan kapasitas *runway* tersebut dapat diasumsikan bahwa *demand* untuk layanan pada ruang udara terminal dalam suatu unit waktu adalah konstan. Oleh karena itu untuk menentukan besarnya kapasitas suatu sistem perlu diketahui besarnya rata – rata waktu minimum dimana operasi melewati ‘reference location’ dari suatu sistem tersebut. Sebagai contoh, ‘reference location’ untuk ruang udara terminal

yaitu *runway entry gate* (titik E pada Gambar 2.9). *Entry gate* merupakan titik dimana operasi dihitung. Untuk menentukan besarnya kapasitas, terlebih dahulu ditentukan besarnya waktu *interarrival* minimum pada *runway entry gate*. Waktu *interarrival* tersebut tidak boleh melanggar ketentuan separasi minimum yang diberikan oleh ATC, baik sebelum maupun sesudah pesawat terbang melewati *runway entry gate*.

Waktu *interarrival* pada *runway entry gate* antara pesawat terbang *leading* atau *first-in-sequence* dan pesawat terbang *trailing* atau *second-in-sequence* dinotasikan sebagai k_{tij} . k menunjukkan lintasan pesawat terbang *leading*, l menunjukkan lintasan terbang pesawat terbang *trailing*, i menunjukkan tipe pesawat terbang *leading*, dan j menunjukkan tipe pesawat terbang *trailing*. Lintasan pesawat terbang *arrival* ditunjukkan melalui segmen – segmen garis lurus, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9. Jika tiap *entry gate* terminal terhubung dengan *runway entry gate* hanya melalui satu buah lintasan (contohnya saat STAR tersedia), maka terminal *entry gate* dimana pesawat udara *leading* dan *trailing* berasal dapat direpresentasikan melalui k dan l . Probabilitas terjadinya urutan pesawat terbang ij pada *entry gate*, pesawat terbang *leading* i dari *entry gate* k , dan pesawat terbang *trailing* j dari *entry gate* l , dinotasikan dengan kl_{pij} . Diasumsikan bahwa kejadian dimana pesawat terbang *leading* i datang dari *entry gate* k dan pesawat terbang *trailing* j datang dari *entry gate* l merupakan kejadian yang tidak saling berpengaruh. Selain itu diasumsikan pula bahwa campuran pesawat terbang *arrival* tidak harus sama pada tiap terminal *entry gate* (contohnya pada beberapa *entry gate* yang signifikan adalah short-haul atau medium-haul *traffic*, sedangkan yang lain long-haul *traffic*). Campuran pesawat

terbang dapat berubah terhadap waktu, contohnya selama periode yang berbeda dalam satu waktu. Dengan mempertimbangkan parameter – parameter di atas, maka probabilitas urutan pesawat terbang dengan urutan *traffic arrival* yang datang dari *entry gate* k dan l adalah sebagai berikut :

$${}_kP_{ij} = P_k P_{i/k} P_l P_{j/l} \quad (2.34)$$

dimana

- p_k = merupakan proporsi arriving *traffic* yang masuk ke terminal melalui *entry gate* k.
- p_l = merupakan proporsi arriving *traffic* yang masuk ke terminal melalui *entry gate* l.
- $p_{i/k}$ = merupakan probabilitas pesawat terbang *leading* merupakan tipe kelas i, yang masuk ke terminal melalui *entry gate* k.
- $p_{j/l}$ = merupakan probabilitas pesawat terbang *trailing* merupakan tipe kelas j, yang masuk ke terminal melalui *entry gate* l.

Sehingga besarnya waktu *inter-arrival* yang diharapkan pada *runway entry gate* ditunjukkan sebagai berikut :

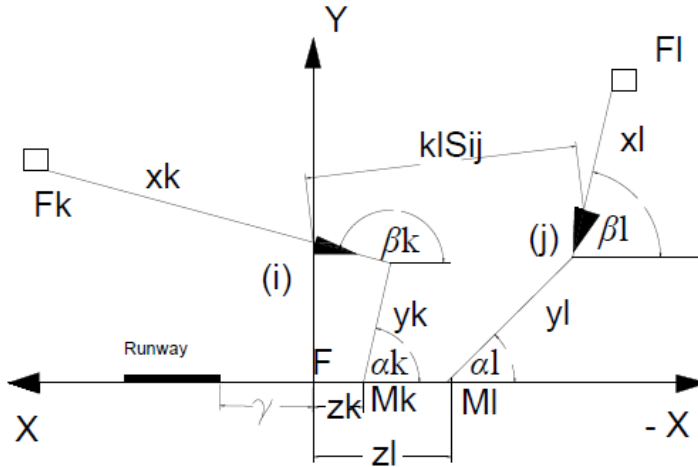
$$t_a = \sum {}_kP_{ij} P_k P_{i/k} P_l P_{j/l} \quad (2.35)$$

dan besarnya kapasitas adalah

$$K = 1/t_a \quad (2.36)$$

Distribusi *traffic* antar terminal *entry gate* dan campuran tipe pesawat terbang pada *gate* tertentu, sebagai input pemodelan, biasanya tetap dalam suatu periode waktu tertentu. Untuk menentukan besarnya kapasitas

melalui suatu 'counting' point, besarnya waktu *inter-arrival* kltij harus dikurangi sesuai separasi dari *air traffic control*, kemudian dihitung besarnya t_a, λ .



Gambar 2. 11 Contoh lintasan perkiraan *approach* dengan jarak horisontal antar sepasang pesawat $kls_{ij}(t)$

Besarnya kls_{ij0} minimum dapat dicapai jika separasi awal kls_{ij0} ditentukan sehingga separasi antar dua buah pesawat terbang sebesar $kls_{ij}(t) = \delta_{ij}$ pada waktu t^* saat dua buah pesawat terbang berada paling dekat satu sama lain.

Jarak antara dua buah pesawat terbang i dan j yang datang dari *entry gate* ruang udara terminal k dan l pada lintasan k dan l dapat dipresentasikan melalui fungsi trigonometri kompleks. Fungsi trigonometri kompleks tersebut akan berubah bentuknya bila posisi dua buah pesawat terbang berubah pada segmen lintasan *approach*.

Fungsi tersebut dapat berubah menjadi 13 bentuk yang berbeda tergantung dari kemungkinan posisi antara pesawat terbang i dan j pada segmen lintasan yang berbeda, k dan l. Berikut adalah fungsi yang berhubungan dengan situasi yang digambarkan pada Gambar 2.11 :

$${}_{kl}t_{ij} = \left(\frac{kl s_{0ij} + x_l}{v_j} + \frac{y_l + z_l}{u_j} \right) - \left(\frac{x_k}{v_i} + \frac{y_k + z_k}{u_i} \right) \quad (2.37)$$

dimana :

- ${}_{kl}s_{ij0}$ = separasi awal antara pesawat terbang i dan j, yaitu jarak antara pesawat terbang j dan *entry gate* ruang udara terminal l, dihitung sepanjang lintasan l dari pesawat terbang j, pada saat $t = 0$, yaitu pada saat pesawat terbang i memasuki ruang udara terminal di *entry gate* k. Separasi awal ini dapat bernilai negatif jika pesawat terbang j memasuki ruang udara sebelum pesawat terbang i.
- x_k, y_k, z_k = merupakan panjang segmen lintasan k dan l yang menghubungkan *entry* x_l, y_l, z_l *gate* k dan l dengan *runway entry gate*.
- v_i, u_i = kecepatan pesawat terbang tipe i sepanjang segmen x_k, y_k , dan z_k .
- v_j, u_j = merupakan kecepatan pesawat terbang tipe j sepanjang segmen ${}_{kl}s_{ij0}, x_l, y_l$, dan z_l

Pada Persamaan 2.31 tersebut dapat dilihat bahwa waktu *inter-arrival* ${}_{kl}t_{ij}$ untuk sepasang pesawat terbang merupakan peningkatan fungsi separasi awal ${}_{kl}s_{ij0}$. Untuk

memaksimalkan aliran yang melewati *runway entry gate*, yaitu kapasitas ruang udara terminal, maka besarnya kl_{ij} untuk tiap pasangan pesawat terbang ij yang datang dari *entry gate* k dan l harus diminimalkan. Namun peraturan separasi *air traffic control* tidak boleh dilanggar. Hal tersebut dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\min_{kl} S_{ij0} \quad (2.38)$$

Berkaitan dengan

$$_{kl} s_{ij}(t) \geq \delta_{ij} \text{ untuk } \forall t \in \left(0; \frac{x_k}{v_i} + \frac{y_k}{u_i} + \frac{\gamma}{w_i} \right) \quad (2.39)$$

dimana

- $_{kl} S_{ij}(t)$ = separasi horisontal antara pesawat terbang i dan j datang dari *gate* k dan l .
- δ_{ij} = peraturan separasi horisontal minimum yang diaplikasikan antara pesawat terbang tipe i dan j .
- γ = panjang *common approach path* untuk semua pesawat terbang *arrival* yang menghubungkan *runway entry gate* F dan *runway threshold* T .
- w_i = kecepatan pesawat terbang tipe i pada *common approach path*.

Besarnya $_{kl} S_{ij0}$ minimum dicari jika separasi horisontal antara dua buah pesawat terbang tidak lebih kecil dari yang diharuskan, dimana pesawat terbang yang pertama berada di ruang udara terminal antara *entry gate* dan *landing runway threshold*.

Jarak antara dua buah pesawat terbang i dan j yang datang dari *entry gate* ruang udara terminal k dan l pada

lintasan k dan l dapat dipresentasikan melalui fungsi trigonometri kompleks. Fungsi trigonometri kompleks tersebut akan berubah bentuknya bila posisi dua buah pesawat terbang berubah pada segmen lintasan *approach*. Fungsi tersebut dapat berubah menjadi 13 bentuk yang berbeda tergantung dari kemungkinan posisi antara pesawat terbang i dan j pada segmen lintasan yang berbeda, k dan l. Berikut adalah fungsi yang berhubungan dengan situasi yang digambarkan pada Gambar 2.11 :

$${}_{kl}S_{ij}(t) = \sqrt{(At^2 + 2Bt + C)} \quad (2.40)$$

dimana

$$\begin{aligned} A &= v_i^2 - 2v_i v_j \cos(\beta_l - \beta_k) + v_j^2 \\ B &= \left[x_k - {}_{kl}S_{ij0} \frac{v_i}{v_j} \right] \left[v_j \cos(\beta_l - \beta_k) - v_i \right] - x_l \left[v_j - v_i \cos(\beta_l - \beta_k) \right] \\ &\quad - y_l \left[v_j \cos(\beta_l - \alpha_l) - v_i \cos(\beta_l - \alpha_i) - v_i \cos(\beta_l - \alpha_l) \right] + y_k \left[v_j \cos(\beta_l - \alpha_k) - v_i \cos(\beta_k - \alpha_k) \right] \\ &\quad - (z_l - z_k) (v_j \cos \beta_k - v_i \cos \beta_k) \\ C &= \left(x_k - {}_{kl}S_{ij0} \frac{v_i}{v_j} \right)^2 - 2 \left(x_k - {}_{kl}S_{ij0} \frac{v_i}{v_j} \right) \left[-y_k \cos(\beta_k - \alpha_k) + (z_l - z_k) \cos \beta_k \right] \\ &\quad + x_l^2 + 2x_l \left[y_l \cos(\beta_l - \alpha_l) + (z_l - z_k) \cos \beta_l - y_k \cos(\beta_l - \alpha_k) \right] + y_l^2 + y_k^2 \\ &\quad - 2y_k y_l \cos(\alpha_l - \alpha_k) + (z_l - z_k)^2 - 2(z_l - z_k) (y_k \cos \alpha_k - y_l \cos \alpha_l) \end{aligned}$$

Semua variabel dalam persamaan diatas, kecuali ${}_{kl}S_{ij0}$ dan t, dapat dianggap sebagai parameter untuk lintasan dan campuran pesawat terbang yang ada. Sehingga pada saat t^* dari jarak minimum antara pasangan pesawat terbang, ${}_{kl}S_{ijmin} = {}_{kl}S_{ij}(t^*)$ dapat dicari, dan untuk :

$${}_{kl}S_{ij}(t^*) = \delta_{ij} \quad (2.41)$$

yang berhubungan dengan :

$$k_l S_{ij0} \text{ dan } k_l t_{ij0}$$

Selanjutnya besar k_{ltij} dan p_k , p_l Serangkaian k_{lsij0} menunjukkan kondisi separasi awal yang diperlukan untuk mengoperasikan traffic flow dalam tingkatan kapasitas. , p_i/k , p_j/l , t_a dapat dihitung dan juga kapasitas λ .

2.7 Delay

Pembahasan mengenai *delay* diperlukan untuk menganalisis apakah *demand* dari *airline* untuk operasi pesawat terbang sudah berjalan sesuai dengan jadwal yang ditentukan atau belum, dan untuk melihat dampak yang ditimbulkan terhadap kapasitas bandara. Selain itu *delay* digunakan sebagai ukuran dari *service quality* dari suatu penyedia sistem transportasi udara. secara teori, *delay* dijelaskan sebagai penambahan waktu untuk melakukan suatu aktivitas dari waktu yang sudah direncanakan. *Delay* dan *congestion* atau kepadatan pada bandara merupakan ancaman utama bagi transportasi udara di masa depan. Karakteristik dinamik dari *delay* pada bandara sulit untuk diprediksi secara akurat. Secara umum, *delay* :

- Dapat terjadi bahkan pada periode dimana tingkatan *demand* lebih rendah daripada kapasitas.
- Tergantung secara nonlinear dari perubahan *demand* dan/atau kapasitas, akan menjadi sangat sensitif terhadap perubahan yang kecil saat *demand* mendekati atau lebih besar dari kapasitas.

Konsekuensi utama dari kurangnya kapasitas *airside* di bandara adalah *delay* pada *take-off* dan *landing*, serta dampak ekonomi dan biaya lain – lainnya. Saat *delay* bertambah besar, maka dampak lain yang tidak diinginkan

akan menjadi biasa, seperti *missed flight connections*, penundaan penerbangan, dan pengalihan penerbangan ke bandara lain. *Congestion* dari bandara dan lalu lintas udara merupakan masalah yang terus berkembang dalam skala internasional dan dianggap menjadi salah satu hal mendesak dalam perkembangan industri transportasi udara di masa mendatang.

Hubungan yang didapat antara *delay* dan tingkatan kapasitas, yaitu sebagai berikut :

1. *Demand rate* melebihi kapasitas

Saat *demand* melebihi kapasitas, maka antrian dari pesawat terbang yang *landing* maupun *departing* biasanya akan pasti terjadi dan *delay* akan terjadi sepanjang hari selama tingkatan *demand* melebihi kapasitas dalam interval waktu apa pun. *Delay* yang terjadi biasanya disebut *overload delay*.

2. *Delay* yang terjadi disebabkan oleh variabilitas interval waktu antara permintaan waktu penggunaan *runway* secara berturut – turut atau berdasarkan variabilitas waktu untuk melayani tiap *landing* dan *take-off*. Beberapa sumber timbulnya variabilitas tersebut adalah

- Waktu instan dimana *demand* yang sebenarnya terjadi pada day-to-day basis diacak sebagai akibat dari deviasi *schedule* yang sudah diprediksi oleh karena alasan – alasan yang timbul (misalnya masalah mekanikal atau logistik pesawat terbang, *delay* pada bandara lain, pembatalan penerbangan, penumpang yang terlambat boarding, kru pesawat terbang yang terlambat).
- Total waktu yang digunakan untuk melayani *departure* dan *arrival* pada sistem *runway* yang tidak konstan, namun bervariasi terhadap banyak faktor (misalnya tipe pesawat terbang, aturan separasi antar pesawat terbang, penggunaan *runway exit*, dll).

Efek nyata dari variabilitas tersebut adalah timbulnya interval waktu pada saat terbentuk kelompok atau “cluster” dari beberapa *demand* yang berdekatan dan/atau *service time* yang lebih lama dari biasanya. Antrian dari pesawat terbang kemudian akan terjadi, baik di ground dan/atau di udara. Saat *demand* lebih kecil dari kapasitas, namun mendekati kapasitas tersebut, maka dibutuhkan waktu yang lama sebelum antrian tidak ada lagi. Pada kenyataannya, kelompok baru dari *demand* atau lamanya *service time* dapat timbul sebelum antrian yang sudah terjadi tidak ada lagi dan barisan antrian dapat bertambah panjang sejenak. *Delay* yang terjadi biasanya disebut *stochastic delay*. Dengan demikian, antrian panjang dapat terjadi meski tingkatan *demand* lebih kecil dari kapasitas pada kasus dimana:

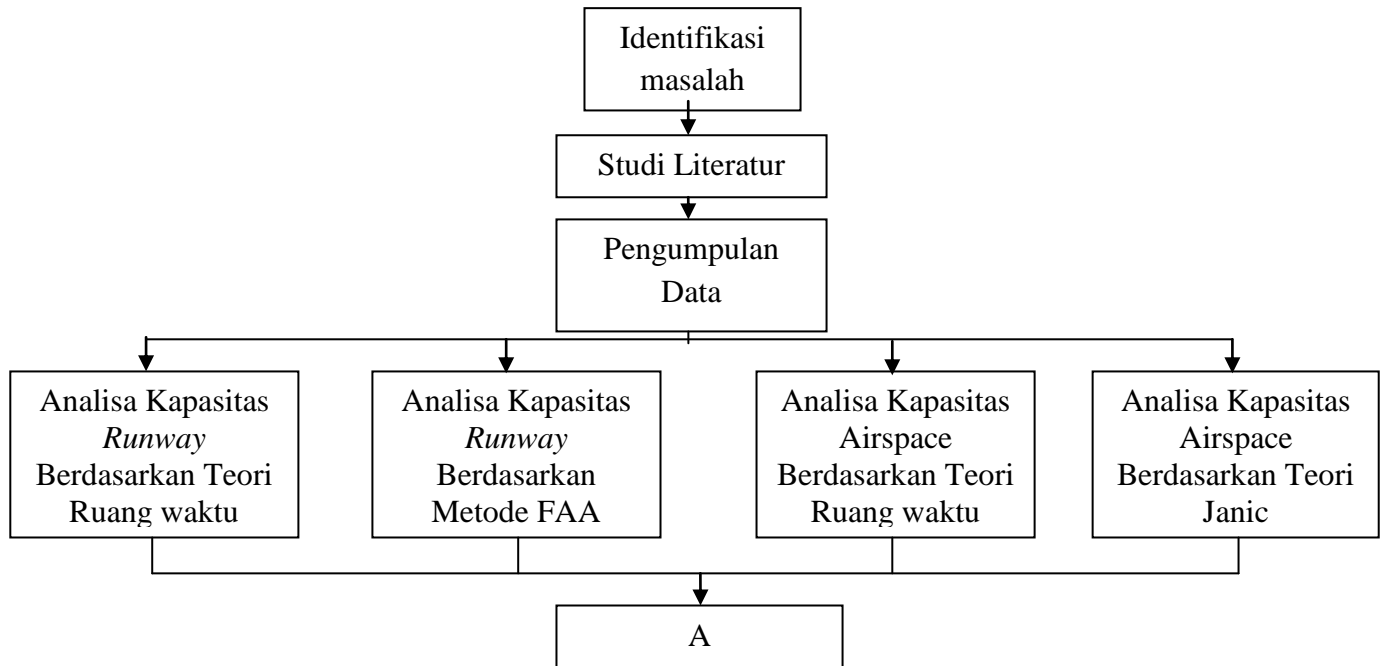
- Terdapat variabilitas waktu yang diperhitungkan antara *demand* yang berturut – turut pada sistem *runway* dan/atau variabilitas *service time* pada sistem *runway*.
- Tingkatan *demand* mendekati kapasitas sistem *runway*.

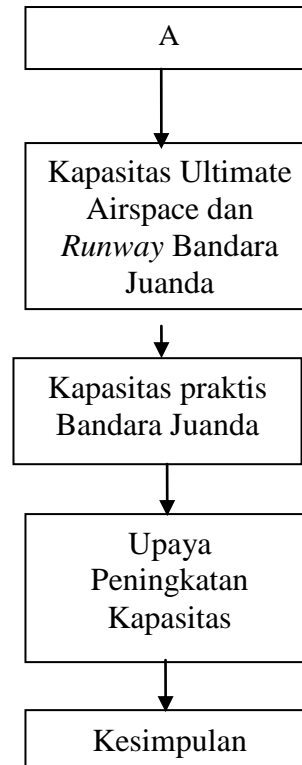
BAB III METODOLOGI

3.1. Umum

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metodologi yang akan digunakan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini. Metodologi merupakan penguraian atau penjelasan tentang tahapan- tahapan yang dilakukan dari awal pengerjaan hingga akhir penyelesaian tugas akhir ini, berdasarkan aturan yang berlaku sehingga ada landasan yang mendasari hasil pengerjaan Tugas Akhir ini.

3.2. Diagram Alir Penelitian





Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian

Terdapat empat tahap dalam penelitian ini yaitu

- Studi Literatur
- Pengumpulan Data
- Analisis Data
- Kesimpulan dan Saran

3.3. Studi Literatur

Studi literatur yang dimaksudkan untuk dapat memahami data apa saja yang diperlukan, dan bagaimana cara mengolah data tersebut. Hal ini dimaksudkan untuk dapat memahami tentang kapasitas *runway* dan *airspace* suatu bandara, serta mena

3.4. Pengumpulan Data

3.4.1 Survey Sekunder

Karena semua data dapat didapatkan melalui lembaga-lembaga terkait tanpa harus melakukan survey langsung maka cukup dilakukan survey sekunder. Survey sekunder dilakukan dengan mengumpulkan data-data pendukung dari sejumlah lembaga terkait di wilayah studi dan aplikasi internet.

Data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

- Aturan ATFM : Separasi Vertikal dan Horizontal antar Pesawat.
- Data Pesawat : Jenis Pesawat, Klasifikasi Pesawat, *Approach Speed*.
- Geometri *Runway* dan *Taxiway* = Jarak *Threshold Runway* ke *Exit Taxiway*, Geometri *Runway*, Konfigurasi *Taxiway*.

- Geometri *Terminal Airspace* = Letak Entry Point. Jarak Entry Point ke *Common Approach Gate*, Sudut Segmen dari *Airway*.
- Jadwal operasi keberangkatan dan kedatangan pesawat. Pengumpulan data penerbangan yang seharusnya menggunakan survei langsung di menara ATC digantikan dengan menggunakan aplikasi *flight tracker* di website www.flightradar24.com secara real time.

3.5. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan terhadap data yang telah diperoleh melalui survey sekunder. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan Metode Kapasitas *Ultimate Runway* dan Metode Janic untuk mendapatkan besar kapasitas sistem *airspace-runway* dari bandara internasional Juanda.

Output yang sudah didapat akan dibandingkan dengan data operasional pesawat,. Sehingga dapat diketahui apakah kapasitas yang ada sekarang mencukupi atau tidak.

3.6. Kesimpulan

Pada tahap ini merupakan tahapan akhir dengan berdasarkan hasil analisis yang dilakukan maka akan diambil kesimpulan mengenai kapasitas dari *airside* bandara internasional Juanda.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

DATA DAN ANALISIS KAPASITAS RUNWAY

Secara garis besar, guna menyelesaikan proses analisis Tugas Akhir Studi *Air Traffic Management* : Studi Kasus Analisis Kapasitas Ruang Bandar Udara Internasional Juanda, perlu dilakukan tiga tahapan, antara lain: analisis kapasitas *runway*, analisis kapasitas ruang udara, dan penjabaran solusi yang dapat diterapkan di Bandar Udara Internasional Juanda.

4.1 Aturan *Traffic* dan Pola *Traffic* pada Bandar Udara Internasional Juanda.

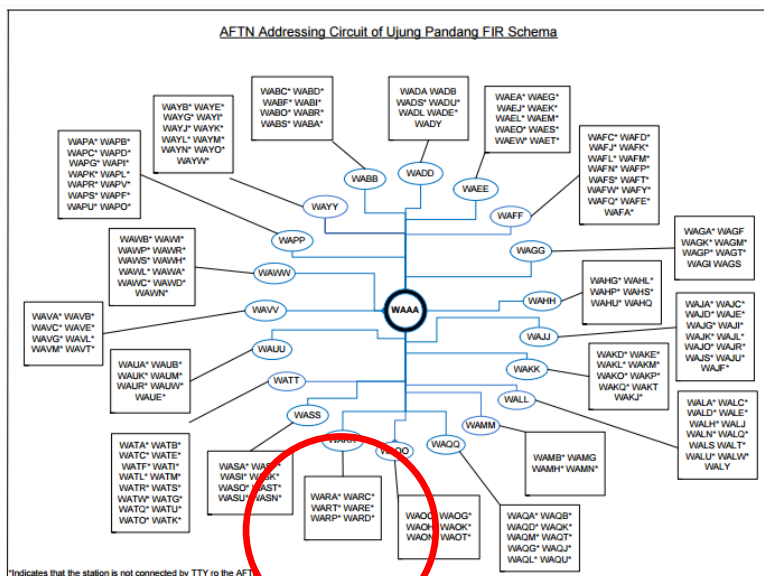
4.1.1 Umum

Bandar Udara internasional Juanda adalah Bandar udara utama yang melayani wilayah Provinsi Jawa Timur. Bandar Udara Juanda Memiliki kode ICAO WARR dan kode IATA SUB. Bandar Juanda terletak pada koordinat 7°22'47"LU 112°47'13"BT.

4.1.2 Aturan *Traffic* Bandar Udara Juanda

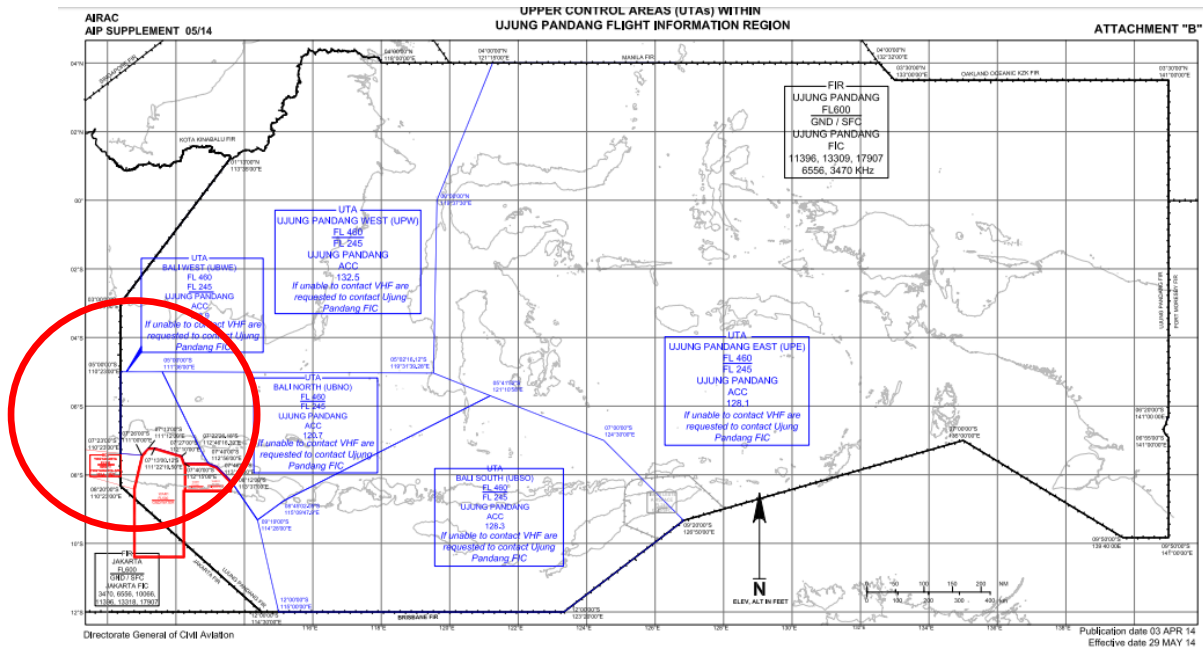
Bandar udara Juanda termasuk klasifikasi bandar udara dengan kelas hub. Bandar udara juanda juga diklasifikasikan sebagai bandar udara dengan ruang udara manuver terminal level C. Sehingga bandar udara juanda mampu mengontrol penerbangan pada konsisi IFR, SVFR maupun VFR. Bandar Udara Juanda termasuk dalam kendali Ujung pandang FIR (Flight Information Region) yang berarti seluruh tanggung jawab lalu lintas pada bandar udara Juanda harus melapor pada

FIC (Flight Information Control). Skema komunikasi dari Ujung-Pandang FIR dapat digambarkan sebagai berikut :



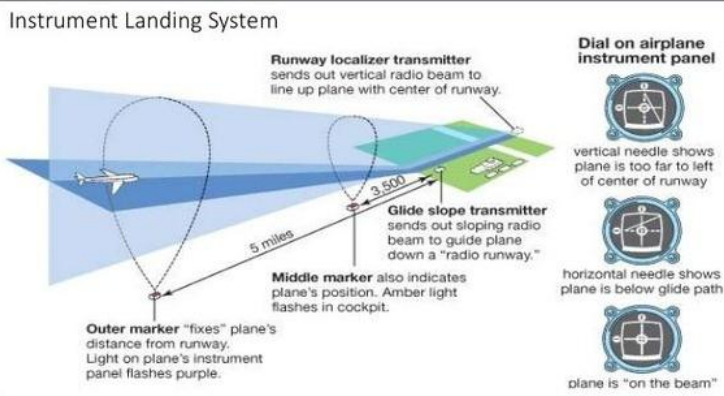
Gambar 4. 1 Skema Komunikasi Ujung Pandang FIR

Sedangkan untuk area kerja dari Ujung – Pandang FIR adalah sebagai berikut :



Gambar 4. 2 Upper Control Areas Ujung Pandang FIR

Bandar Udara Juanda memiliki satu buah *runway* untuk operasi campuran (kedatangan dan keberangkatan). *Runway* di bandar udara juanda memiliki azimut pada arah 262° dan 98° . *Runway* pada bandar udara juanda memiliki VOR/ DME pada kedua arah *runway*, namun alat bantu navigasi ILS hanya terletak pada *Runway 10* bandar udara Juanda dan dapat diakses dengan frekuensi 110.10 MHz. ILS dipakai sebagai alat bantu utama dalam *approach* kedatangan. sehingga seperti saat pengambilan data, *runway 10* merupakan *runway* yang digunakan untuk operasi penerbangan. Cara kerja ILS adalah mencocokkan koordinat pesawat dengan marking yang terletak pada perpanjangan *runway*. Sehingga dapat diketahui pesawat berada pada posisi yang benar untuk *approach* atau tidak. Berikut adalah ilustrasi kerja ILS :



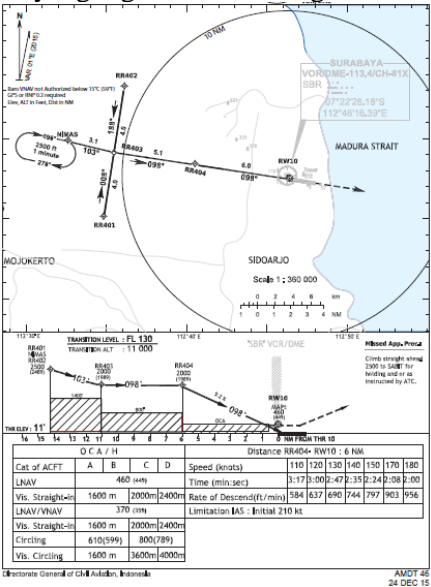
Gambar 4. 3 Ilustrasi Kerja Instrument Landing System

ILS pada bandar udara juanda memiliki titik marker yang harus diikuti dalam prosedur pendaratan secara berurutan. Titik tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Detail titik marker ILS pada Runway 10

Path Terminator	Way-point Name	Fly Over	Course / Track T* (M°)	Turn Direction	Level Contraint	Speed Constraint (knot)	Coordinates	Remark and Dist to MAPt
TF	RR401	N	009.2° (008°)		2500	210	07 24 50.60S 112 34 44.28 E	15.1 NM
TF	NIMAS	N	104.1° (103°)		2500	210	07 20 07.44 S 112 32 22.49 E	14.2 NM
TF	RR402	N	189.2° (188°)		2500	210	07 16 54.51S 112 36 01.52 E	15.1 NM
TF	RR403	N	099.2° (098°)		2000		07 20 52.55 S 112 35 22.91 E	11.1 NM
TF	RR404	N	099.2° (098°)		2000		07 21 41.74 S 112 40 26.91 E	6.0 NM
DF	RWY 10	Y					07 22 39.61 S 112 46 24.57 E	MAPt
	SABIT				2500			

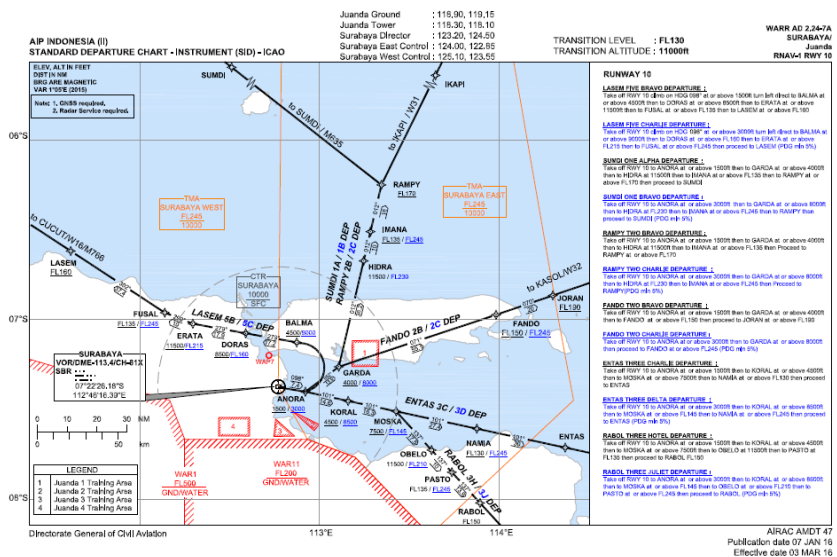
Titik titik tersebut terbentang sepanjang area *common approach path* yang digambarkan sebagai berikut :



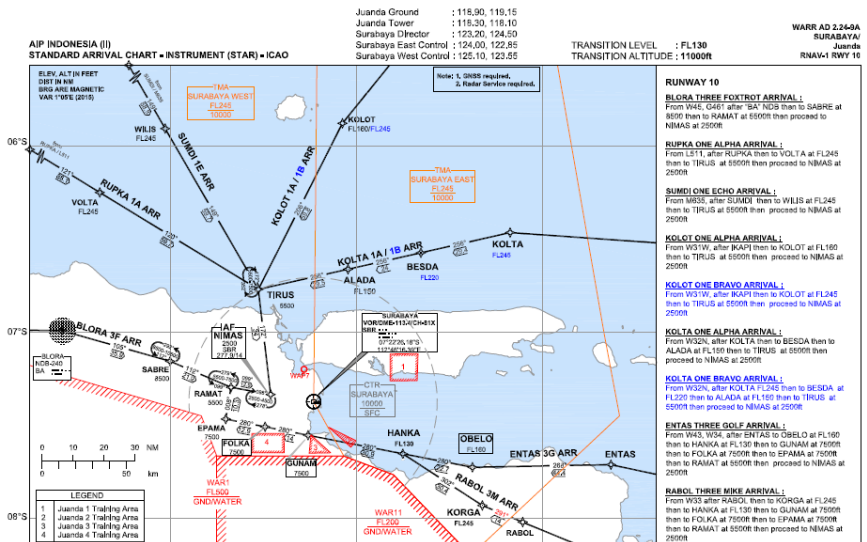
Gambar 4. 4 Letak Marker ILS pada Approach Path

Selain ILS terdapat juga sistem alat bantu operasi penerbangan pada *terminal airspace* pada bandar udara Juanda. Sistem ini disebut dengan STAR dan SID. Sistem ini membantu memberikan kontrol terhadap ruang udara di sekitar bandar udara juanda.

Sistem STAR dan SID merupakan suatu alat bantu untuk membantu dalam prosedur *approach*. *Approach* yang dimaksud adalah proses perpindahan pesawat dari *airway* masuk menuju *airspace* kemudian melakukan operasi pendaratan dan sebaliknya. Sistem STAR dan SID ini membantu mempermudah kontrol ATC terhadap pesawat yang hendak melakukan operasi penerbangan di bandara Juanda. Berikut ini adalah STAR dan SID pada Bandar Udara Juanda :



Gambar 4. 5 SID pada runway 28



Gambar 4. 6 STAR untuk Runway 10

Secara garis besar kinerja SID dan STAR adalah membentuk sebuah rute yang terorganisir baik pada ruang udara sehingga mengurangi kepadatan yang terjadi akibat tidak terorganisirnya pergerakan pesawat ketika memasuki ruang udara terminal. Rute-rute yang dihubungkan oleh STAR dan SID adalah sebagai berikut.

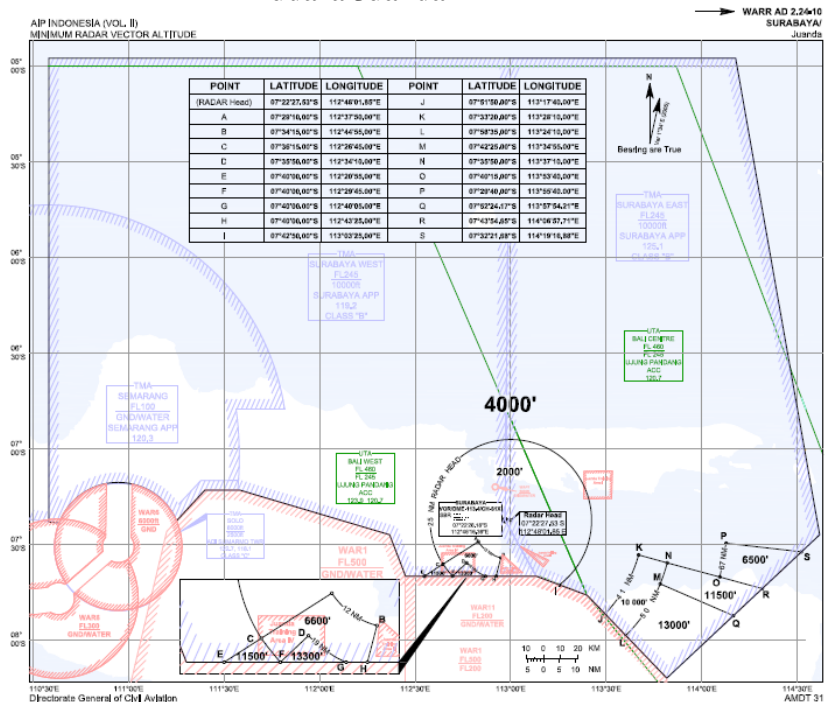
Tabel 4. 2 Rute Asal yang dihubungkan oleh STAR pada bandar Udara Juanda

Runway 10			Runway 28				
Entry	Rute	Asal	Entry	Rute	Asal		
RAMAT	W45	Jakarta	VERSA	W45	Jakarta		
		Palembang			Palembang		
		Bandung			Bandung		
		Semarang			Semarang		
		Jogjakarta			Jogjakarta		
	G361	Singapore		G461	Jakarta		
		Malaysia		W43	NTT		
	W43	NTB			NTB		
		W34		NTT	W34	NTT	
	NTB			NTB			
	W33	Bali		W33	Bali		
		Jember			Jember		
	TIRUS	L511		Pangkal Pinang	DIRGA	L511	Pangkal Pinang
				Tanjung Pinang			Tanjung Pinang
Aceh			Aceh				
M635		Singapore	M635	Singapore			
		Malaysia		Malaysia			
W31W		Banjarmasin	W31W	Banjarmasin			
		Balikpapan		Balikpapan			
		Pangkalan Bun		Pangkalan Bun			
		Samarinda		Samarinda			
W32N		Makassar	W32N	Makassar			
		Kendari		Kendari			
		Palu		Palu			

Tabel 4. 3 Rute Tujuan yang dihubungkan dengan SID

Runway 10 & 28		
Entry	Rute	Tujuan
LASEM	M766	Jakarta
		Palembang
		Bandung
		Semarang
		Jogjakarta
RAMPY	M635	Singapore
		Malaysia
	W31	Banjarmasin
		Balikpapan
		Pangkalan Bun
		Samarinda
FANDO	W32	Makassar
		Kendari
		Palu
ENTAS	W34-43	NTT
		NTB
RABOL	W33	Bali

Tabel 4. 4 Sektorisasi Ruang Udara di sekitar bandar udara Juanda



- Ground Area

Area Ground ini dikontrol oleh Juanda_GND (118.9 MHz). Pada area ground ini terdapat sisi darat bandara seperti apron, taxiway, dan *runway*. Pada area ini terdapat pekerjaan ground handling, menentukan antrian, dan menentukan clearance. Pada area ini terdapat aturan khusus seperti :

- Squawk pada range 6300-6377
- Flight Plan harus berdasarkan SID
- Ketika *Traffic* sedang padat, clearance dapat diberikan saat taxiing.
- Jumlah maksimum operasi VFR adalah 3. Jika lebih koordinasi dengan TWR.
- Untuk operasi kedatangan pada terminal 1. Digunakan N3 dan N6. Sedangkan untuk operasi keberangkatan, gunakan N4 dan N5. N3 dilarang untuk keberangkatan
- Pada terminal 2, untuk kedatangan digunakan S4-SP2-S3-SP1 atau S3-SP1. Sedangkan keberangkatan menuju ke jalur terdekat antara SP2 dan S1.
- Terkait dengan populasi burung di area bandara maka pilot diperintahkan siaga pada pukul 23:00 – 02:00 dan 09:30-11:00

- CTR (control zone)

Area ini disebut dengan area kontrol bandara. Unit yang bertugas mengatur area ini disebut dengan WARR_TWR (123.2 MHz) . Tugas dari WARR_TWR adalah :

- memberikan ijin operasi penerbangan
- memberikan ijin penggunaan *runway* untuk operasi lain
- memberikan ijin VFR
- memberikan informasi VFR/IFR dan VFR/VFR
- melakukan pelayanan kontrol pada area kontrol
- koordinasi dengan ground dan director

pada unit ATC WARR_TWR pada bandara Juanda terdapat beberapa aturan lalu lintas khusus yang harus dipenuhi sebagai berikut :

- semua keberangkatan harus mengikuti SID kecuali ada alternatif lain yang diberikan Director.
- Hindari *tailwind* pada area selatan
- Lepas dari WARR_TWR, pesawat yang ada di udara harus langsung mengontak WARR_APP.
- Untuk *missed approach* ikuti instruksi pada AIP.

- Terminal Manouver Airspace (TMA)

Terminal Manouver Airspace adalah ruang udara yang fungsi utamanya adalah sebagai tempat manuver untuk melakukan *approach* dari airway menuju bandar udara. Pada bandar udara Juanda unit yang bertugas terhadap area ini disebut dengan WARR_APP. WARR_APP dipisah menjadi 2 bagian, yaitu SURABAYA WEST CONTROL (125.10 Mhz) dan SURABAYA EAST CONTROL (124.00 MHz). 2 bagian ini mengontrol 2 bagian ruang udara yang berbeda. Tugas dari WARR_APP adalah :

- Memandu pesawat yang datang
- Memberikan panduan terhadap pesawat yang mengalami *missing approach*.
- Melakukan kontrol separasi
- Melakukan panduan terhadap pesawat yang berada pada area TMA
- Melakukan pengawasan terhadap RADAR
- Memberikan perintah holding
- Melakukan kontrol terhadap entry point

Sedangkan aturan khusus yang terdapat pada Area TMA bandar Udara Juanda adalah sebagai berikut :

- Ketika *runway* 10 digunakan pesawat yang berangkat pada ketinggian awal 5000 ft akan diinstruksikan naik ke 24000 ft dan melakukan transfer ke WAAZ_B_CTR.

- Ketika *runway* 28 yang digunakan, pesawat yang berangkat pada ketinggian awal 7000 ft harus mewaspadai area disekitar RAMPY dan FANDO. Karena ada kemungkinan terjadinya konflik dengan kedatangan dari ROBIT dan ROPIA. Kemudian melakukan transfer ke WAAZ_B_CTR.
- Separasi minimum yang digunakan adalah 5NM pada area TMA.
- Ketika RADAR mengalami gangguan maka beralih pada separasi non RADAR.
- Ketika radio bermasalah maka kode squawk yang digunakan adalah 7600
- Ketinggian minimum yang diperbolehkan adalah 2000ft akibat adanya halangan antenna.

- Upper Area Control (UAC)

Upper Area control adalah ruang udara luas yang digunakan untuk operasi enroute. Area ini merupakan area yang paling tinggi dan luas dalam susunan FIR. Di area ini biasanya pesawat tidak memiliki batas kecepatan yang ditentukan dan memasuki mode auto-pilot. Pada area ini yang melakukan kontrol adalah WARR_D_APP (119.10 Mhz). Tugas dari WARR_D_APP adalah :

- Melakukan Panduan sesuai STAR dan SID
- Membantu manuver vectoring menggunakan ketinggian, arah dan kecepatan
- Memberikan ijin enroute

Sedangkan aturan khusus yang berlaku pada UAC bandar udara juanda

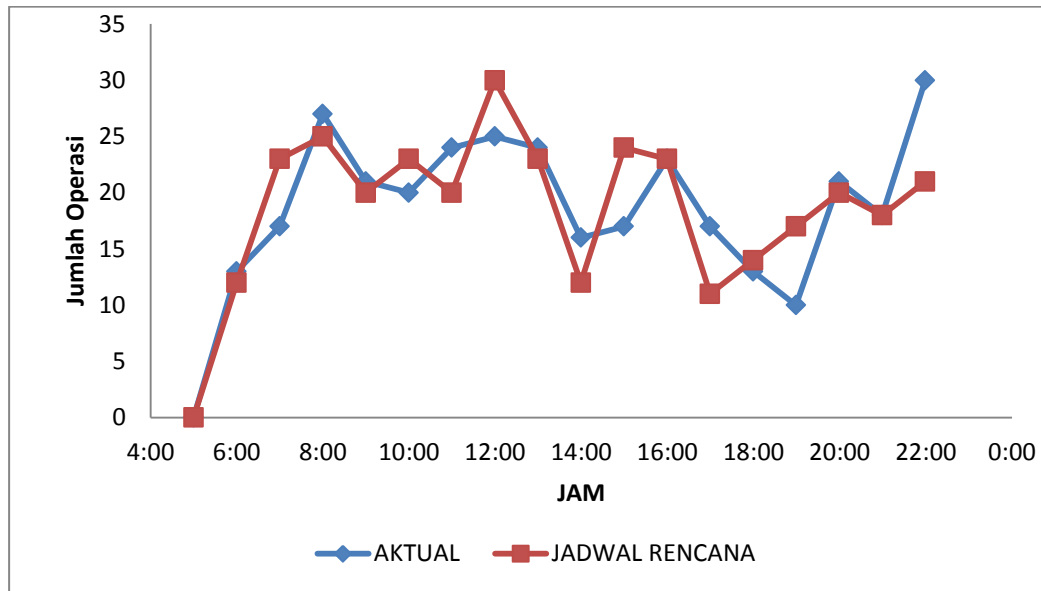
- Pesawat yang beroperasi harus memiliki perangkat radio dua arah.
- Semua penerbangan yang berasal dari BALI CONTROL harus menurunkan ketinggian sampe 2000 untuk pengoperasian ILS.
- Pada pengoperasian *runway* 10, *traffic* dari ROBIT dan ROPIA akan ditransfer sebelum SBR, mempertahankan

ketinggian 8000 ft. Setelah SBR penerbangan diarahkan ke arah 250. Turun ke 4000 ft. Untuk join ke ILS. Jika membutuhkan downwind maka diarahkan ke arah 280

- WARR_D_APP akan mengatur *traffic* dari ROBIT dan RABOL setelah ditransfer dari BALI CONTROL. Memberikan vector ke SABIT untuk VOR/DME *approach* ke RW 28. Hati hati terhadap pesawat dari SABIT yang berpotongan pada 2500 ft. Jangan ragu untuk melakukan penyisipan awal ketika *traffic* sedang tinggi.
- Ketika terjadi missed *approach* maka mengikuti prosedur ILS/GNSS yang tersedia.
- Holding pada *runway* 10 terletak pada NIMAS ketinggian 4000 ft, dan RW 28 pada SABIT 5000 ft.

4.1.3 Pola *Traffic* Bandar Udara Juanda

Pola *Traffic* bandar udara juanda dilihat berdasarkan jadwal dan aktual yang terjadi. Pengamatan dilakukan pada tanggal 24-30 Juli 2016 melalui website <http://flightradar24.com>. Flightradar24 merupakan *flight tracker* yang memiliki fitur *real-time* untuk operasi penerbangan. Berikut adalah contoh aktual dan jadwal yang terjadi.



Gambar 4. 7 Perbandingan Jadwal Penerbangan Rencana dengan Operasi Aktual Pada 24 Juli 2016

4.2 Formulasi Kapasitas *Ultimate*

Perhitungan kapasitas ultimate di bandara juanda dilakukan dengan 2 metode yaitu metode Ruang-Waktu dan metode FAA.

4.2.1 Analisis Kapasitas *Ultimate Runway* Menggunakan Teori Ruang – Waktu

Analisis menggunakan teori ruang – waktu ini bertujuan untuk memodelkan pergerakan pesawat pada *runway* dengan dimensi pembatas jarak dan waktu. Analisis ini bertujuan mendapatkan kapasitas ultimate yang mendekati dengan keadaan sebenarnya.

Data yang diperlukan untuk perhitungan kapasitas jenuh *runway* dengan teori ruang -waktu adalah sebagai berikut :

- Kecepatan *approach* tiap tipe pesawat
- *Runway Occupancy Time* untuk tiap-tiap tipe pesawat
- Aturan Separasi yang diterapkan di Bandar Udara Juanda
- Panjang Final *Approach Path* (FAP) masing-masing *runway* pada *Instrument Approach Chart* Bandar Udara Juanda ,yang didapat dari Aeronautical Information Publication (AIP)
- Probabilitas frekuensi terjadinya urutan pesawat yang datang berdasarkan kecepatan *approach* dan klasifikasi pesawat.

4.1.1.1 Langkah Analisis kapasitas ultimate menggunakan teori ruang dan waktu.

Langkah – langkah perhitungan kapasitas ultimate *runway* menggunakan teori ruang dan waktu adalah sebagai berikut:

a) kapasitas sistem *runway* untuk kedatangan saja (*arrival only*)

Sistem *runway* yang digunakan dalam permodelan ini adalah *runway* 10. Dikarenakan selama pengumpulan data, *runway* 10 menjadi pilihan seluruh operasi penerbangan untuk melakukan operasi take-off maupun landing.

Pada *runway* 10 memiliki FAP sepanjang 6 nm dan separasi antar pesawat sesuai dengan tabel 2.2. selanjutnya dilakukan perhitungan berdasarkan jadwal penerbangan pada suatu rentang waktu tertentu.

Contoh perhitungan dilakukan pada hari Minggu, 24 Juli 2016 pukul 11:00-11:59 WIB

Tabel 4. 5 Jadwal Penerbangan Minggu , 24 Juli 2016 pukul 11:00 – 11: 59 WIB

Nomor Penerbang an	Keberangkat an	Kedatang an	Keberangkat an Rencana	Keberangkat an Aktual	Kedatang an Rencana	Kedatang an Aktual	Runway	Entry Gate	jenis Pesawat
GIA364	1		11:00	11:21			10	ENTAS	CRJ1000
XT393		1	9:30	9:21	11:00	11:23	10	TIRUS	A320
JT692	1		11:00	11:37			10	ENTAS	B737-9
BTK7513		1	9:35	9:42	11:05	10:47	10	RAMAT	A320
CTV9702		1	9:00	9:13	11:05	10:58	10	RAMAT	A320
GIA342	1		11:05	12:43			10	RABOL	B737-8
JT970		1	9:00	9:20	11:10	11:20	10	TIRUS	B737-9
GIA313	1		11:10	11:33			10	LASEM	B737-8
QZ302	1		11:10	11:50			10	RAMPY	A320
GIA7307		1	10:20	10:20	11:15	11:11	10	RAMAT	ATR-72
CTV876		1	9:30	10:08	11:15	11:26	10	TIRUS	A320
SJY254	1		11:20	10:46			10	ENTAS	B737-8
CTV671		1	8:40	8:50	11:20	11:08	10	TIRUS	A320
CTV920		1	9:05	9:17	11:20	11:17	10	TIRUS	A320
CTV654	1		11:20	11:35			10	RAMPY	A320

KD710		1	10:00	10:00	11:25	11:31	10	TIRUS	ATR-72
GIA360	1		11:25	11:44			10	LASEM	B737-8
JT892		1	8:30	9:11	11:30	11:52	10	RAMAT	B737-9
LNI365		1	10:55	10:55	11:35	11:14	10	TIRUS	B737-9
LNI222	1		11:35	11:28			10	RAMPY	B737-8
BTK6284	1		11:35	11:48			10	RAMPY	A320
CTV804	1		11:35	11:56			10	LASEM	A320
GA310		1	10:10	10:53	11:45	11:57	10	RAMAT	B737-8
GA7304	1		11:45	12:06			10	RABOL	ATR-72
CTV786	1		11:45	12:18			10	LASEM	A320
BTK7512	1		11:50	12:09			10	LASEM	A320
CTV923	1		11:50	12:11			10	RAMPY	A320
CTV670	1		11:50	12:13			10	FANDO	A320
LNI973	1		11:50	12:16			10	RAMPY	B737-9
KLS651	1		11:50	12:45			10	RAMPY	ATR-72

untuk menentukan separasi antar pesawat maka digunakan pengkategorian pesawat berdasarkan MTOW sebagai berikut :

- **H** (Heavy) Pesawat dengan MTOW 136.000 kg (300.000 lb) atau lebih;
- **M** (Medium) Pesawat dengan MTOW kurang 136.000 kg (300.000 lb) dan lebih dari 7.000 kg (15.500 lb).
- **L** (Light) Pesawat dengan MTOW 7 000 kg (15 500 lb) kurang

sehingga menurut pesawat yang beroperasi pada hari Minggu, 27 Juli 2016 pukul 11:00-11:59 WIB dapat dituliskan sebagai berikut:

Tabel 4. 6 Klasifikasi Pesawat Berdasarkan MTOW

Nomor Penerbangan	jenis Pesawat	Kategori Pesawat
GIA364	CRJ1000	M
XT393	A320	M
JT692	B737-9	M
BTK7513	A320	M
CTV9702	A320	M
GIA342	B737-8	M
JT970	B737-9	M
GIA313	B737-8	M
QZ302	A320	M
GIA7307	ATR-72	M
CTV876	A320	M
SJY254	B737-8	M
CTV671	A320	M
CTV920	A320	M

CTV654	A320	M
KD710	ATR-72	M
GIA360	B737-8	M
JT892	B737-9	M
LNI365	B737-9	M
LNI222	B737-8	M
BTK6284	A320	M
CTV804	A320	M
GA310	B737-8	M
GA7304	ATR-72	M
CTV786	A320	M
BTK7512	A320	M
CTV923	A320	M
CTV670	A320	M
LNI973	B737-9	M
KLS651	ATR-72	M

sedangkan untuk kecepatan *approach* setiap pesawat dapat ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4. 7 Kecepatan *Approach* Tiap Tipe Pesawat
(Sumber : Indah, I Gusti Studi Performansi Layout Exit
Taxiway untuk Mendapatkan Kapasitas Optimum Landas
Pacu Utara Bandar Udara Soekarno-Hatta)

Tipe Pesawat	Kecepatan (Knot)
Boeing 727 all series (B722, B72F)	130
Boeing 737 all series (B732, B733, B734, B735, B738, B739)	130
Boeing 747 all series (B743, B744, B74F)	145
Boeing 767 all series (B763)	140

Boeing 777 all series (B772, B773)	145
McDonnell Douglas MD 80 series (MD80, MD82)	135
McDonnell Douglas MD 90 series (MD90, MD93)	135
McDonnell Douglas MD 11 (MD11)	140
Airbus A300 – 600 (A306)	135
Airbus A310 family (A310)	135
Airbus A320 family (A319, A320)	135
Airbus A330 family (A330, A332, A333)	140
Airbus A340-500 (A345)	140
British Aerospace 146 (BA46)	125
Fokker 100 (F100)	130
Bombardier CRJ-1000	135
ATR-72	105

Selanjutnya perhitungan dilakukan dengan mengelompokkan operasi kedatangan dalam bentuk matrix sesuai dengan urutan pesawat sebagai berikut :

**Tabel 4. 8 matrix jumlah operasi kedatangan hari minggu
24 Juli 2016**

	<i>trailing</i>					
<i>leading</i>	A320	B737	A330	ATR	CRJ1000	MD80
A320	24	26	1	3	3	
B737	22	40	2	5		
A330	2	1	1			
ATR	4	4				
CRJ1000	1	2				
MD80						

a. *Closing Case* ($V_i \leq V_j$)

Sebagai contoh diambil GA7307 (ATR-72, *leading*)–
QG876(A320,*trailing*).

$$V_i = 105 \text{ knot}$$

$$V_j = 135 \text{ knot}$$

Dengan menggunakan persamaan 2.4 dicari besarnya ΔT_{ij} dan dimasukkan dalam matrik $[M_{ij}]$. sebagai berikut :

$$\Delta T_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{V_i} = \frac{5}{105} \times 3600 = 171.4 \text{ s}$$

b. *Opening Case* ($V_i > V_j$)

Sebagai contoh diambil QG920 (Airbus A320,
leading) – KD710 (ATR-72 *trailing*).

$$V_i = 135 \text{ knot}$$

$$V_j = 105 \text{ knot}$$

Dengan menggunakan persamaan 2.6 dicari besarnya ΔT_{ij} dan dimasukkan dalam matrik $[M_{ij}]$. sebagai berikut :

$$\Delta T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{V_j} + \left[\frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} \right] = \frac{5}{105} + 6 \times \left[\frac{1}{105} - \frac{1}{135} \right] \\ = 217 \text{ s}$$

Demikian seterusnya dihitung untuk semua kombinasi V_i dan V_j yang selanjutnya disusun menjadi matrik $[M_{ij}]$ berikut.

Tabel 4. 9 Matrix [Mij] untuk operasi kedatangan Minggu, 27 juli 2016

<i>ARRIVAL</i>	<i>trailing</i>					
<i>leading</i>	A320	B737	A330	ATR	CRJ1000	MD80
A320	133,3	144,6	133,3	217,1	133,3	133,3
B737	138,5	138,5	138,5	217,1	144,6	138,5
A330	139,0	150,3	128,6	222,9	139,0	139,0
ATR	171,4	171,4	171,4	171,4	171,4	171,4
CRJ1000	133,3	144,6	133,3	87,6	133,3	133,3
MD80	133,3	144,6	133,3	87,6	133,3	133,3

Sedangkan probabilitas terjadinya urutan pesawat yang datang untuk semua kombinasi V_i dan V_j didapatkan dengan membandingkan urutan kedatangan dengan total jumlah kedatangan yang terjadi. sehingga didapatkan matriks $[P_i]$ sebagai berikut:

Tabel 4. 10 Matrix [Pij] untuk operasi kedatangan Minggu, 27 juli 2016

	<i>trailing</i>					
<i>leading</i>	A320	B737	A330	ATR	CRJ1000	MD80
A320	15,1	28,2	0,0	0,0	3,4	0,0
B737	25,3	48,8	0,9	9,6	0,0	0,0
A330	0,9	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0
ATR	3,2	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0
CRJ1000	0,8	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0
MD80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Nilai perkiraan waktu antar kedatangan (*interarrival time*) dihitung dengan menggunakan persamaan 2.2, yaitu sebagai berikut :

$$E(\Delta T_{ij}) = \sum [P_{ij}][M_{ij}]$$

$$E(\Delta T_{ij}) = 133(0.113) + 144.6(28.2) + 133.3(0) + \dots + 133.3(0)$$

$$E(\Delta T_{ij}) = 87.84 \text{ s}$$

Dengan menggunakan persamaan 2.5, kapasitas *runway* 10 untuk operasi kedatangan saja adalah

$$Ca = \frac{1}{E \Delta T_q} = \frac{1}{143} \times 3600 = 25 \text{ arrival/jam}$$

b) Kapasitas sistem *runway* untuk keberangkatan saja (*departure only*)

Matrik waktu antar keberangkatan (*interdeparture time*) disusun berdasarkan aturan separasi minimum antar keberangkatan. dapat dilihat pada tabel 4.7 berikut.

Tabel 4. 11 Tabel separasi antar keberangkatan

	<i>Leading</i>		
<i>trailing</i>	Heavy	Large	Small
Heavy	60 s	120 s	180 s
Large	60 s	60 s	120 s
Small	60 s	60 s	60 s

Menurut Jadwal Penerbangan urutan terjadinya kedatangan dapat dituliskan sebagai berikut :

Tabel 4. 12 Matrix Jumlah Operasi Keberangkatan

	<i>trailing</i>					
<i>leading</i>	A320	B737	A330	ATR	CRJ1000	MD80
A320	24	26	1	3	3	0
B737	22	40	2	5	0	0
A330	2	1	1	0	0	0
ATR	4	4	0	0	0	0
CRJ1000	1	2	0	0	0	0
MD80	0	0	0	0	0	0

Sedangkan probabilitas terjadinya urutan pesawat yang berangkat untuk semua kombinasi V_i dan V_j didapatkan dengan membandingkan urutan kedatangan dengan total jumlah kedatangan yang terjadi. sehingga didapatkan matriks $[P_i]$ sebagai berikut:

Tabel 4. 13 Matrix $[P_{ij}]$ untuk keberangkatan

	<i>trailing</i>					
<i>leading</i>	A320	B737	A330	ATR	CRJ1000	MD80
A320	0,170213	0,184397	0,007092	0,021277	0,021277	0
B737	0,156028	0,283688	0,014184	0,035461	0	0
A330	0,014184	0,007092	0,007092	0	0	0
ATR	0,028369	0,028369	0	0	0	0
CRJ1000	0,007092	0,014184	0	0	0	0
MD80	0	0	0	0	0	0

Sedangkan separasi antar kedatangan dapat dimodelkan dalam matrix [td] sebagai berikut

Tabel 4. 14 matrix waktu inter departure

	<i>trailing</i>					
<i>leading</i>	A320	B737	A330	ATR	CRJ1000	MD80
A320	60	60	60	60	60	60
B737	60	60	60	60	60	60
A330	120	120	60	120	120	120
ATR	60	60	60	60	60	60
CRJ1000	60	60	60	60	60	60
MD80	60	60	60	60	60	60

Dengan menggunakan persamaan 2.18 maka didapatkan waktu *interdeparture* adalah

$$\begin{aligned}
 E(td) &= \sum [P_{ij}][td] \\
 E(td) &= 0.170(60) + 0.189(60) + 0.007(60) + \\
 &\dots + 0.0556(60) \\
 &= 60 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Kapasitas *runway* untuk operasi keberangkatan saja dihitung dengan menggunakan persamaan 2.17, yaitu sebagai berikut :

$$C_d = \frac{3600}{E(td)} = \frac{3600}{60} = 60 \text{ keberangkatan/jam}$$

c) Kapasitas sistem *runway* untuk operasi campuran (*mixed operation*)

Karena pada kasus *runway* 10 bandar udara Juanda digunakan untuk operasi kedatangan dan keberangkatan, maka diperlukan perhitungan lebih lanjut untuk menentukan kapasitas ultimate dari *runway* 10. Perhitungan dilakukan dengan menghitung celah (Gap) antar kedatangan terlebih dahulu. separasi antara kedatangan dengan keberangkatan dan sebaliknya dapat dimodelkan dengan keadaan *runway* sudah bersih, dengan kata lain separasi antara kedatangan dengan keberangkatan maupun sebaliknya dapat dinyatakan dalam *runway occupancy time*.

Perhitungan Gap antar operasi kedatangan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$G_{h-s} = T_2 - T_1 = (E(\Delta T_{ij}) - \frac{\delta}{V_s}) - (ROT) \quad (4.1)$$

dimana :

- G = Gap antar kedatangan (s)
- T₂ = Waktu *Arrival Trailing*(s)
- T₁ = Waktu *Arrival Leading*(s)
- E(ΔT_{ij}) = Waktu *Interarrival* (s)
- δ = Jarak separasi minimum (nm)
- ROT = *Runway Occupation time*(s)
- V_s = kecepatan pesawat *trailing* (knot)

diambil contoh *arrival* BTK 7512 (Airbus A320 , *Leading*) –
CTV 9702 (Airbus A320, *Trailing*)

$$E(\Delta T_{ij}) = 80 \text{ s}$$

$$\delta = 3 \text{ nm}$$

$$\text{ROT} = 65 \text{ s}$$

$$V_s = 135 \text{ knots}$$

$$\begin{aligned} G_{h-s} &= T_2 - T_1 = (E(\Delta T_{ij}) - \frac{\delta}{V_s}) - (\text{ROT}) \\ &= T_2 - T_1 = 133 - \frac{3}{135 \times 0.0002} - (65) \\ &= 68 \text{ s} \end{aligned}$$

pada kasus kedatangan A320 – A320 yang berhimpitan maka terjadi gap selama 68 detik dimana secara teori apabila pilot mampu menjamin pesawat akan mengudara dalam waktu 68 detik maka 1 keberangkatan diperbolehkan berangkat.

diambil contoh *arrival* QG920 (Airbus A320 , *Leading*) –
KD710 (ATR-72, *Trailing*)

$$E(\Delta T_{ij}) = 148 \text{ s}$$

$$\delta = 3 \text{ nm}$$

$$\text{ROT} = 65 \text{ s}$$

$$V_s = 105 \text{ knots}$$

$$\begin{aligned} G_{h-s} &= T_2 - T_1 = (E(\Delta T_{ij}) - \frac{\delta}{V_s}) - (\text{ROT}) \\ &= T_2 - T_1 = 148 - \frac{3}{105} - (65) \\ &= 84 \text{ s} \end{aligned}$$

pada kasus kedatangan ATR-72 – A320 yang berhimpitan maka gap yang terjadi adalah 84 detik.

Kemudian dicari $\sum R_i$ yang merupakan probabilitas dari *runway* occupancy time pada setiap tipe pesawat yang dapat ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 4. 15 Probabilitas ROT dari Tiap Pesawat pada operasi kedatangan

Tipe Pesawat	ROT	Jumlah	total	probabilitas
Boeing 737 all series	65	96	168	0.57
Airbus A320 family (A319, A320)	65	58	168	0.36
ATR-72 Series	55	8	168	0.048
MD80 Series	70	0	168	0
A330 Series	75	2	168	0.012
CRJ-1000 Series	70	4	168	0.024

$$\sum R_i = (\text{ROT A320} \times p \text{ A-320}) + (\text{ROT b737} \times p \text{ 737}) + (\text{ROT ATR-72} \times p \text{ ATR-72}) + \dots + (\text{ROT CRJ-1000} \times p \text{ CRJ-1000}) + \dots$$

$$\sum R_i = (65 \times 0.36) + (65 \times 0.57) + (55 \times 0.048) + \dots = 65 \text{ s}$$

Selanjutnya dicari nilai $\sum (\delta d/V_j)$ yaitu sebagai berikut:

$$\sum (\delta d/V_j) = 0.36 \frac{5}{135} + 0.57 \frac{5}{130} + 0.048 \frac{5}{130} + 0 \frac{5}{130} + 0.012 \frac{5}{140} + 0.024 \frac{5}{135}$$

$$\sum (\delta d/V_j) = 138 \text{ s}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk jumlah gap yang diperlukan untuk melepas sejumlah keberangkatan tertentu dengan persamaan 2.24

$$E(\Delta T_{ij}) \geq E(R_i) + E\left(\frac{\delta d}{V_j}\right) + (n_d - 1) (E(t_d))$$

$$162 \geq 59 + 138 + (n_d - 1) (E(t_d))$$

$$162 \geq 203 + (n_d - 1) (E(t_d))$$

kebutuhan inter *arrival* time untuk 1 keberangkatan = 203 s

kebutuhan inter *arrival* time untuk 2 keberangkatan = 263 s

kebutuhan inter *arrival* time untuk 3 keberangkatan = 343 s

Untuk diselingi satu keberangkatan maka dibutuhkan Gap sebesar 223 detik sehingga berdasarkan persamaan 2.25 dapat dihitung kapasitas ultimate *runway* 10 untuk operasi campuran.

$$C_m = \frac{1}{E(\Delta T_{ij})} + (\sum_{nd} p_{nd}) = \frac{1}{143.9} + (1 \times 0 \times 0.006 \times 0.006)$$

$$C_m = 25 \text{ operasi/jam}$$

Hasil Perhitungan selama 24 – 27 Juli 2016 dapat ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4. 16 Kapasitas Ultimate *Runway* 10 Bandara Juanda 24-30 Juli 2016

hari	γ	$E(\Delta T_{ij})$	Etd	Ca	Cd	Cm
minggu	6	143.89	60	25	60	25
senin	6	143.3	60	25	60	26
selasa	6	144	60	25	59	26
rabu	6	142	60	25	60	26
kamis	6	143	60	25	60	26
jumat	6	144.7	60	25	60	26
sabtu	6	144.9	60	25	60	25

4.2.2 Analisis Kapasitas Ultimate *Runway* Menggunakan Metode FAA

Data-data yang diperlukan dalam penentuan kapasitas jenuh *runway* menggunakan metode FAA adalah sebagai berikut :

- Konfigurasi *Runway***
 Konfigurasi *Runway* di bandara Juanda adalah single *runway* dengan 11 exit taxiway. dimensi dari *runway* sendiri adalah 3000 m (panjang) x 45 meter (lebar). serta arah magnitude sebesar 99° dan 278° .
runway ini digunakan untuk operasi campuran (keberangkatan dan kedatangan) berdasarkan Advisory Circular 150/5060-5, digunakan grafik dalam penentuan kapasitas ultimate *runway*.
- Mix Index**
 Mix Index merupakan index campuran dari komposisi pesawat dengan Kategori FAA tertentu terhadap

keseluruhan Operasi penerbangan. dalam penelitian ini digunakan data pesawat dengan kategori FAA C dan D dengan kurun waktu 24 juli – 30 juli 2016.

untuk frekuensi pergerakan pesawat dan Mix Index dapat diuraikan dalam tabel berikut :

Tabel 4. 17 Frekuensi Pergerakan Berdasarkan Klasifikasi Pesawat

Type Pesawat	Klasifikasi	Frekuensi	Presentase
B727 all series	C	2296	97.83
B737 all series			
MD80 series			
MD90 series			
CRJ-1xxx series			
ATR-7x series			
A320 family			
B747 all series	D	51	2.17
B767 all series			
B777 all series			
A300-600			
A310			
A330 all series			
A340 all series			
Total		2347	

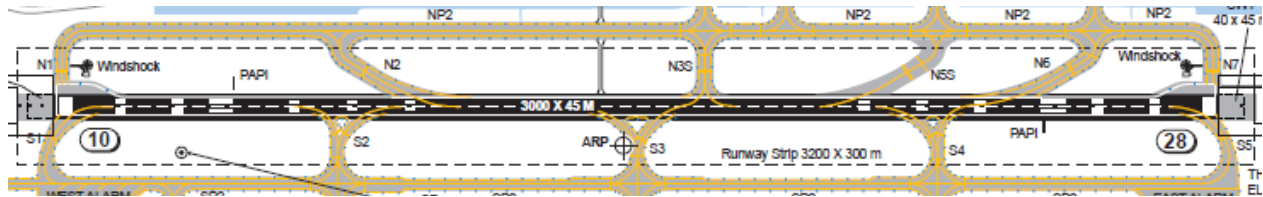
- *Persen Arrival*
Merupakan presentase kedatangan dari total operasi penerbangan pada suatu waktu tertentu. dalam penelitian ini digunakan presentase kedatangan harian terhadap total operasi/hari

Tabel 4. 18 Presentase jumlah *arrival* terhadap operasi harian

Presentase <i>Arrival</i>	TOTAL		
HARI	<i>ARRIVAL</i>	OPERASI	%
MINGGU	168	336	50.0
SENIN	170	337	50.445104
SELASA	168	338	49.704142
RABU	168	348	48.275862
KAMIS	172	323	53.250774
JUMAT	177	347	51.008646
SABTU	176	334	52.694611

- Exit Factor

Merupakan Faktor yang dipengaruhi oleh letak dari exit taxiway. karena *runway* bandara juanda memiliki 2 magnitudo yaitu 10 dan 28, maka perhitungan dilakukan dari threshold masing masing *runway*.



Gambar 4. 8 Konfigurasi *Runway* dan Taxiway bandara Juanda

Tabel 4. 19 Tabel Jarak Exit taxiway dengan masing-masing threshold

<i>Runway</i>	Jarak Exit Taxiway dari threshold <i>Runway</i> (m)										Exit Factor
	N1	N2	N3	N4	N5	S1	S2	S3	S4	S5	
10	0	928	1670	2503	2993	0	715	1485	2257	2993	1
28	2993	2065	1323	490	0	2993	2278	1506	734	0	1

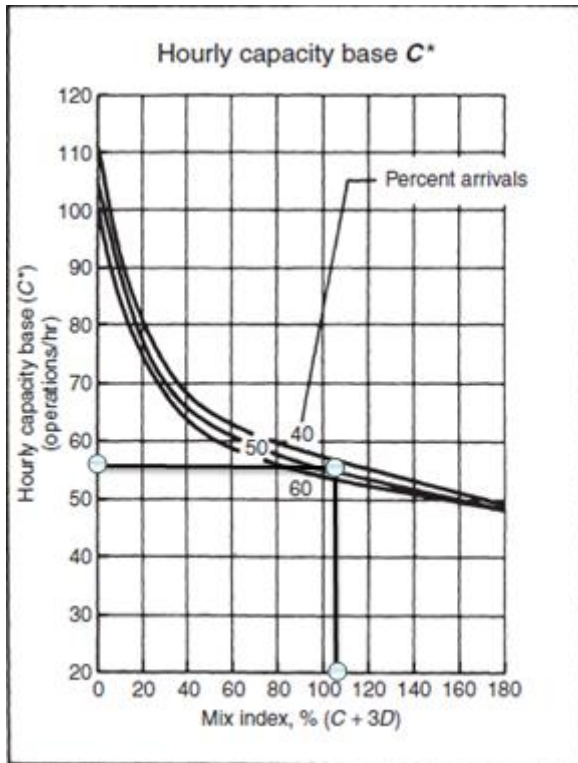
4.1.2.1 Langkah Analisis kapasitas ultimate Menggunakan Metode FAA

a) Menghitung Kapasitas Dasar *Runway*

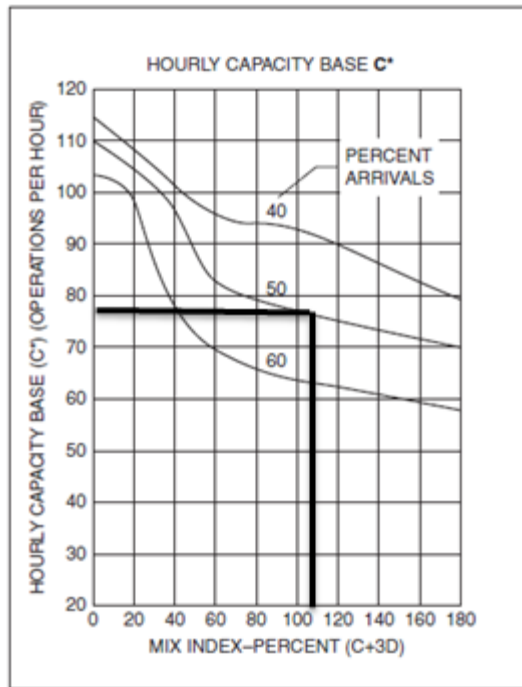
Dalam menghitung kapasitas dasar *runway* maka diperlukan alat bantu grafik. Menurut tabel 4.12 presentase dari pesawat kelas C adalah 97.83 % dan kelas D adalah 2.17% . menurut persamaan 2.26 dapat dihitung mix index sebagai berikut :

$$\begin{aligned} MI &= C + 3D \\ &= 97.83 + 3 (2.17) \\ &= 104 \end{aligned}$$

Presentase *Arrival* dapat didapatkan dari tabel 4.13. karena pada 1 minggu nilai presentase *arrival* berkisar antara 48 – 53 % maka diambil 50 % sebagai nilai rata-rata presentase *arrival*. Selanjutnya digunakan alat bantu Grafik untuk menentukan kapasitas dasar *runway* dalam kondisi IFR maupun VFR.



Gambar 4. 9 Kapasitas Dasar *Runway* Bandara Juanda Pada Kondisi VFR



Gambar 4. 10 Kapasitas dasar *Runway* Bandara Juanda Pada Kondisi IFR

Dari kedua grafik diatas diperoleh kapasitas dasar dari *Runway* Bandar udara internasional juanda sebesar 58 operasi/jam untuk kondisi VFR dan 75 operasi / jam untuk kondisi IFR.

b) Menghitung Kapasitas Jenuh *Runway*

Berdasarkan kapasitas dasar diatas, maka kita dapat menghitung kapasitas jenuh *runway* dengan persamaan pada gambar 2.9. pada penelitian ini presentase touch and go

diabaikan karena presentasenya umumnya sangat kecil.
sehingga kapasitas jenuh dapat dihitung seperti berikut :

$$\begin{aligned} C &= C^* \times T \times E \\ &= 58 \times 1 \times 1 \\ &= 58 \text{ operasi / jam} \end{aligned}$$

sehingga perhitungan untuk *runway* 10 dapat ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4. 20 Tabel Kapasitas *Runway* Menurut FAA

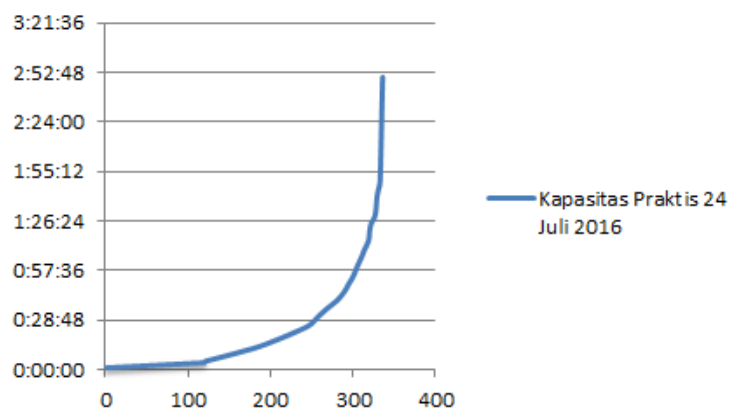
<i>Runway</i>	T	C*		E		Cd	
		VFR	IFR	VFR	IFR	VFR	IFR
10	1	58	75	1	1	58	75

4.3 Perhitungan Kapasitas Praktis Bandar Udara Juanda

Perhitungan kapasitas praktis dilakukan dengan melihat demand yang terkena delay sebesar 15 menit pada jam – jam sibuk per hari dalam satu minggu. 15 menit adalah ukuran untuk menentukan kinerja sebuah airline, dimana jika delay dibawah 30 menit masih dapat dianggap wajar, karena sebab-sebab tertentu seperti keterlambatan penumpang, gangguan operasional, *traffic*, dan lain – lain.

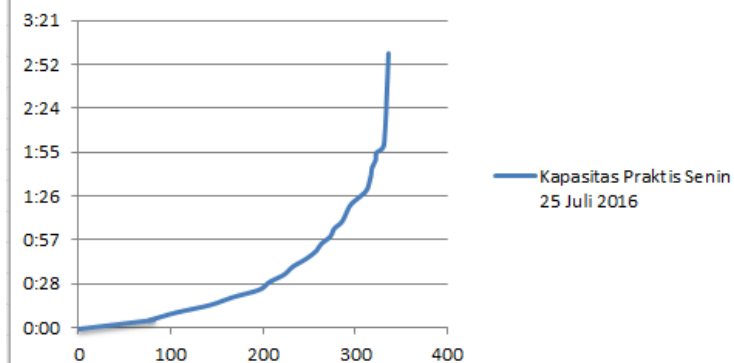
dari hasil perhitungan didapatkan hasil sebagai berikut :

Kapasitas Praktis 24 Juli 2016

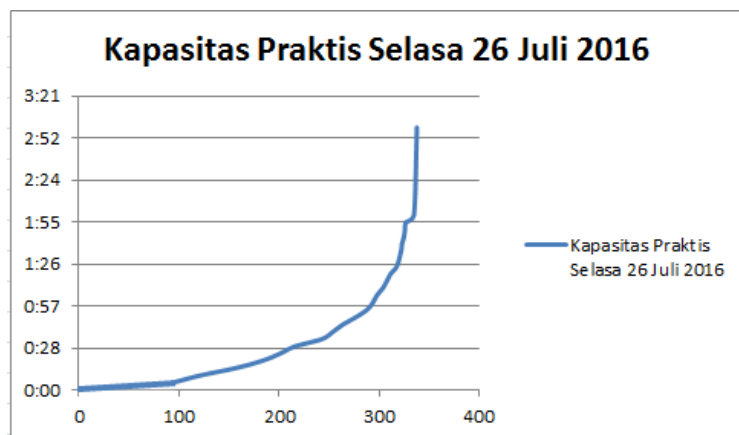


Gambar 4. 11 Grafik Kapasitas Praktis 24 juli 2016

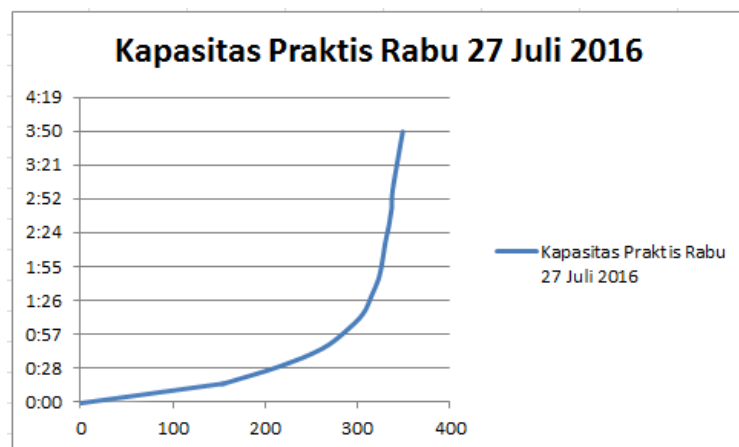
Kapasitas Praktis Senin 25 Juli 2016



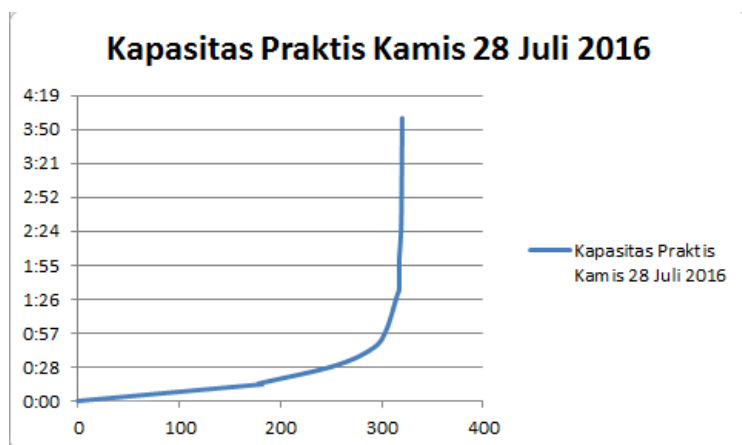
Gambar 4. 12 Grafik Kapasitas Praktis 25 Juli 2016



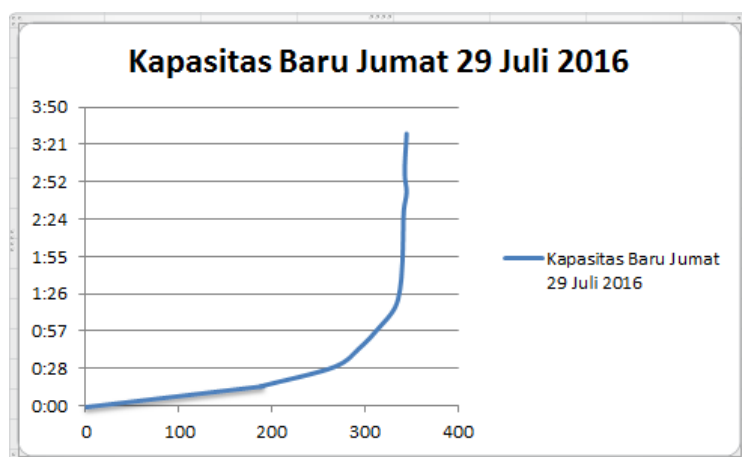
Gambar 4. 13 Grafik Kapasitas Praktis 26 juli 2016



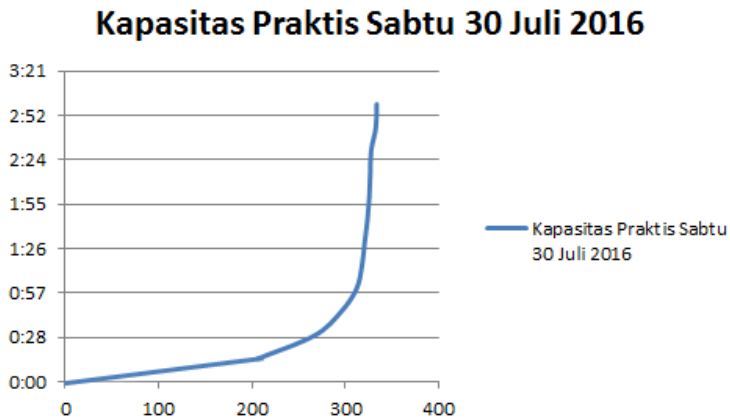
Gambar 4. 14 Grafik Kapasitas Praktis 27 juli 2016



Gambar 4. 15 Grafik Kapabilitas Praktis 28 juli 2016



Gambar 4. 16 Grafik Kapabilitas Praktis 27 juli 2016



Gambar 4. 17 Grafik Kapasitas Praktis 30 juli 2016

Sehingga dapat dituliskan kapasitas *Runway* Bandar udara juanda sebagai berikut :

Tabel 4. 21 Perbandingan Kapasitas Ultimate dan Praktis

Hari	Kapasitas	Kapasitas Ultimate		Presentase	
	Praktis	FAA	Ruang-waktu	FAA	Ruang Waktu
Minggu	15	58	25	36,6	60
Senin	12	58	26	29,3	46
Selasa	12	58	26	30,0	46
Rabu	14	58	26	34,1	54
Kamis	15	58	26	36,6	57.6
Jumat	15	58	26	36,6	57.6
Sabtu	15	58	26	37,5	57.6

4.4 Perhitungan Index Delay dan Total Delay Perjam

4.4.1 Langkah Perhitungan Index Delay dan Total Delay

Pada perhitungan indeks delay dan total delay perjam maka harus dipersiapkan data –data sebagai berikut :

- Kapasitas Jenuh (ultimate) pada *runway* yang ditinjau Kapasitas Jenuh yang digunakan pada penelitian ini ada 2 yaitu kapasitas FAA dan kapasitas jenuh berdasarkan teori ruang dan waktu.
- *Demand* yang terjadi pada jam yang ditinjau Demand yang terjadi dapat diambil melalui jadwal penerbangan rencana.
- Mix Index dan Presentase *Arrival*
Mix Index dan Presentase *Arrival* didapatkan melalui tabel 4.13

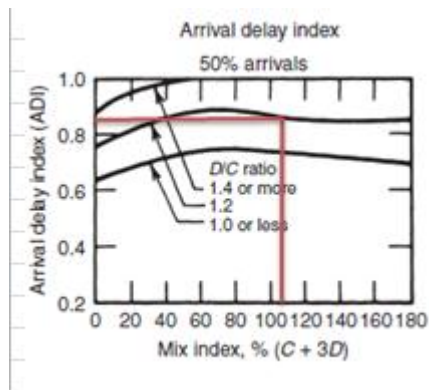
dari data data diatas dapat ditabelkan sebagai berikut

Tabel 4. 22 Tabel Data untuk Perhitungan Delay Index

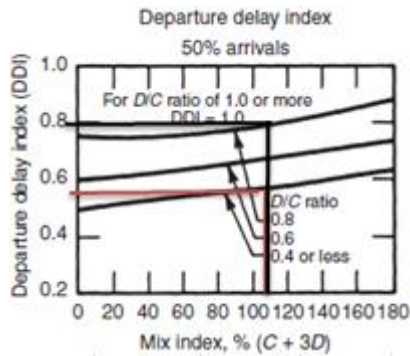
hari	Kapasitas	Kapasitas	Demand	Rasio		Persen	Mix
	Ultimate	FAA	Perjam	D/C		<i>arrival</i>	Index
Minggu	25	58	30	1,18	0,52	50,00	104,35
Senin	26	58	28	1,07	0,48	50,45	104,35
Selasa	26	58	28	1,07	0,48	49,70	104,35
Rabu	26	58	31	1,19	0,53	48,28	104,35
Kamis	26	58	28	1,07	0,48	53,25	104,35
Jumat	26	58	26	1,01	0,45	51,01	104,35
Sabtu	25	58	28	1,13	0,48	52,69	104,35
Average	26			1,10	0,49	50,77	

a) Menghitung Delay Index

Untuk menghitung delay Index maka diperlukan alat bantu grafik. Grafik ini membutuhkan mix Index dan perbandingan antara kapasitas jenuh dengan demand yang terjadi.



Gambar 4. 18 Grafik Bantu Untuk Arrival Delay Index
(Sumber: Airport Engineering, Ashford, J. Norman)



Gambar 4. 19 Grafik Bantu Untuk Departure Delay Index
 (Sumber: *Airport Engineering*, Ashford, J. Norman)

dari hasil diatas dapat diperoleh *Arrival* delay index (ADI) dan *Departure Delay Index* (DDI). Index ini menunjukkan kemampuan *runway* untuk memproses penggunaan tertentu akibat tipe pesawat, rasio kedatangan dan keberangkatan, dan demand yang terjadi.

b) Menghitung Faktor Delay

Faktor delay terdiri dari *Arrival delay factor* dan *Departure delay factor*. perhitungan dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$ADF = ADI \times (D/C) \quad (4.2)$$

dan

$$DDF = DDI \times (D/C) \quad (4.3)$$

diambil contoh hari senin 25 juli 2016 :

$$ADF (\text{Ruang-Waktu}) = ADI \times (D/C) = 0.88 \times 1.07 = 0.94$$

$$ADF (\text{FAA}) = ADI \times (D/C) = 0.88 \times 0.48 = 0.42$$

$$DDF (\text{Ruang-Waktu}) = DDI \times (D/C) = 0.75 \times 1.07 = 0.8$$

$$DDF (\text{FAA}) = DDI \times (D/C) = 0.58 \times 0.48 = 0.28$$

dari perhitungan diatas dapat ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 4. 23 Perhitungan DDF dan ADF

hari	Rasio D/C		ADI	ADF		DDI		DDF	
	R/W	FAA		R/W	FAA	R/W	FAA	R/W	FAA
Minggu	1,18	0,52	0,88	1,04	0,46	0,75	0,58	0,89	0,30
Senin	1,07	0,48	0,88	0,94	0,42	0,75	0,58	0,80	0,28
Selasa	1,07	0,48	0,88	0,94	0,42	0,75	0,58	0,80	0,28
Rabu	1,19	0,53	0,88	1,05	0,47	0,75	0,58	0,89	0,31
Kamis	1,07	0,48	0,88	0,94	0,42	0,75	0,58	0,80	0,28
Jumat	1,01	0,45	0,88	0,89	0,39	0,75	0,58	0,76	0,26
Sabtu	1,13	0,48	0,88	0,99	0,42	0,75	0,58	0,85	0,28
Average	1,10	0,49	0,88	0,97	0,43	0,75	0,58	0,83	0,28

- c) Mencari Demand Maksimum dalam 15 menit dan perbandingannya dengan demand total 1 jam. nilai ini akan digunakan sebagai demand profile factor pada perhitungan rata-rata delay perjam.
- d) Menggunakan Grafik bantu untuk menghitung Rata-Rata delay perjam.

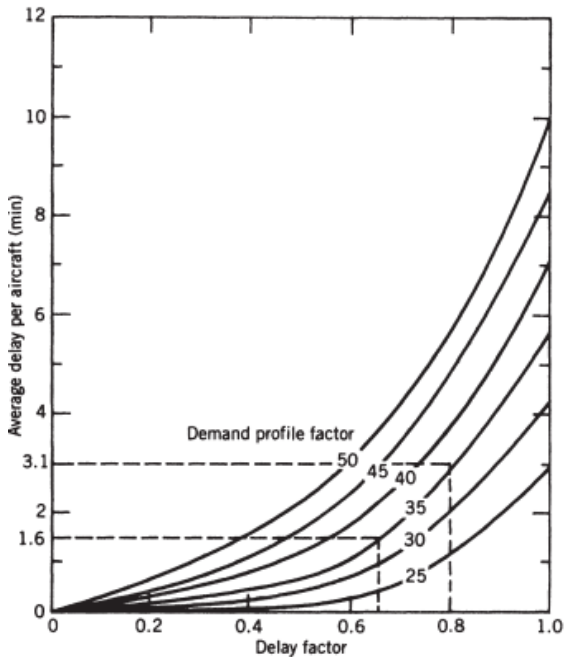
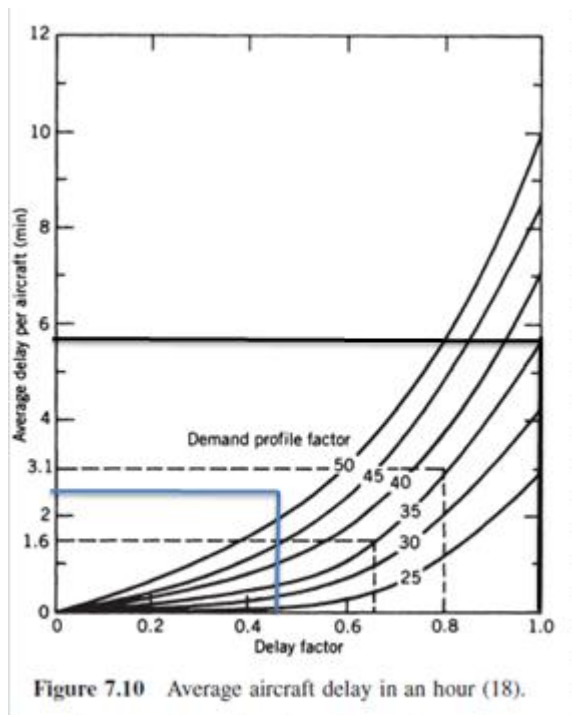


Figure 7.10 Average aircraft delay in an hour (18).

Gambar 4. 20 Grafik Bantu untuk Perhitungan Rata-Rata delay/jam



Gambar 4. 21 Perhitungan Nilai average delay untuk kedatangan menggunakan Grafik Bantu

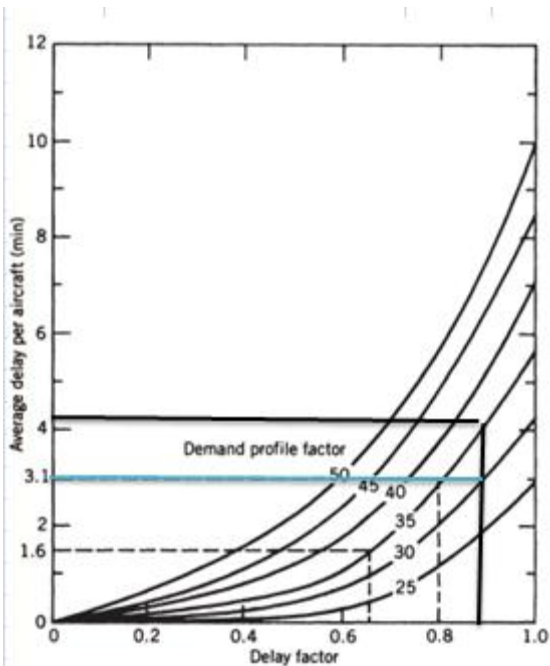


Figure 7.10 Average aircraft delay in an hour (18).

Gambar 4. 22 Perhitungan Nilai average delay untuk keberangkatan menggunakan Grafik Bantu

e) Menghitung Total delay perjam yang terjadi menggunakan persamaan

$$DTH = HD\{[PA \times DAHA] + [(1 - PA) \times DAHD]\} \quad (4.4)$$

dimana :

DTH = total hourly delay (min)

HD = Demand Perjam (Pesawat)

PA = Presentase Kedatangan/100

DAHA = Rata- Rata delay perkedatangan pesawat
di *runway*(min)

DAHD = Rata- Rata delay perkeberangkatan
pesawat di *runway*(min)

dari persamaan 4.4 dan gambar 4.13 dan 4.14 dapat
ditabelkan hitungannya seperti berikut :

Tabel 4. 24Perhitungan total hourly delay

hari	Kapasitas Ultimate	Kapasitas FAA	Demand Perjam	Rasio D/C		Persen arrival	Mix Index	ADI	ADF		DDI		DDF		15 min demand	Presentase Peak 15 min VS hourly demand	DAHA menit	DAHD menit	DTH menit
Minggu	25	58	30	1,18	0,52	50,00	104,35	0,88	1,04	0,46	0,75	0,58	0,89	0,30	11	36,67	5,8	4,2	150
Senin	26	58	28	1,07	0,48	50,45	104,35	0,88	0,94	0,42	0,75	0,58	0,80	0,28	9	32,14	4,8	3,1	110,8
Selasa	26	58	28	1,07	0,48	49,70	104,35	0,88	0,94	0,42	0,75	0,58	0,80	0,28	9	32,14	4,8	3,1	110,5
Rabu	26	58	31	1,19	0,53	48,28	104,35	0,88	1,05	0,47	0,75	0,58	0,89	0,31	9	29,03	4,8	3,1	121,5
Kamis	26	58	28	1,07	0,48	53,25	104,35	0,88	0,94	0,42	0,75	0,58	0,80	0,28	10	35,71	5,8	4,2	141,5
Jumat	26	58	26	1,01	0,45	51,01	104,35	0,88	0,89	0,39	0,75	0,58	0,76	0,26	8	30,77	4,8	3,1	103,1
Sabtu	25	58	28	1,13	0,48	52,69	104,35	0,88	0,99	0,42	0,75	0,58	0,85	0,28	8	28,57	4,8	3,1	111,9
Average	26			1,10	0,49	50,77		0,88	0,97	0,43	0,75	0,58	0,83	0,28		32,15	5,8	3,41	121,3

BAB V

ANALISIS KAPASITAS RUANG UDARA

5.1 Formulasi Kapasitas Airspace

Untuk Perhitungan kapasitas ruang udara terminal pada tugas akhir ini digunakan dua metode yang berbeda. Tujuannya adalah mendapatkan hasil dan perbandingan yang lebih akurat. Disini metode yang digunakan adalah adaptasi metode ruang waktu untuk perhitungan kapasitas *runway*. Metode kedua adalah metode yang dikembangkan Milan Janic untuk menentukan kapasitas ultimate terminal airspace.

5.1.1 Adaptasi Formulasi Ruang waktu untuk Perhitungan kapasitas airspace.

Alasan penggunaan metode adaptasi ini adalah kemiripan pola-pola parameter dan perilaku yang terjadi antara *runway* dan terminal *airspace*. Dimana keduanya melayani suatu operasi penerbangan disuatu space terbatas dalam satu waktu tertentu, dan dibatasi oleh aturan-aturan penerbangan.

Permodelan yang dilakukan pada tugas akhir ini berfokus pada penggunaan ruang udara dibawah ketinggian 7500 ft disekitar bandara juanda. Perbedaan antara perhitungan kapasitas *runway* dan kapasitas airspace adalah kegiatan operasi penerbangan yang terjadi. Pada *runway* memungkinkan terjadinya *mixed operation* dimana terjadinya *landing* dan *take-off* pada tempat yang sama. Sedangkan pada

terminal airspace hanya terdapat satu operasi untuk setiap ruang udara yang tersedia. Yaitu kedatangan saja atau keberangkatan saja. Sehingga tidak mungkin terjadinya mixed operation pada suatu terminal airspace yang sama.

5.1.2 Langkah Perhitungan kapasitas Ultimate Terminal Airspace.

Berdasarkan kajian pustaka di bab 2, maka parameter-parameter yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

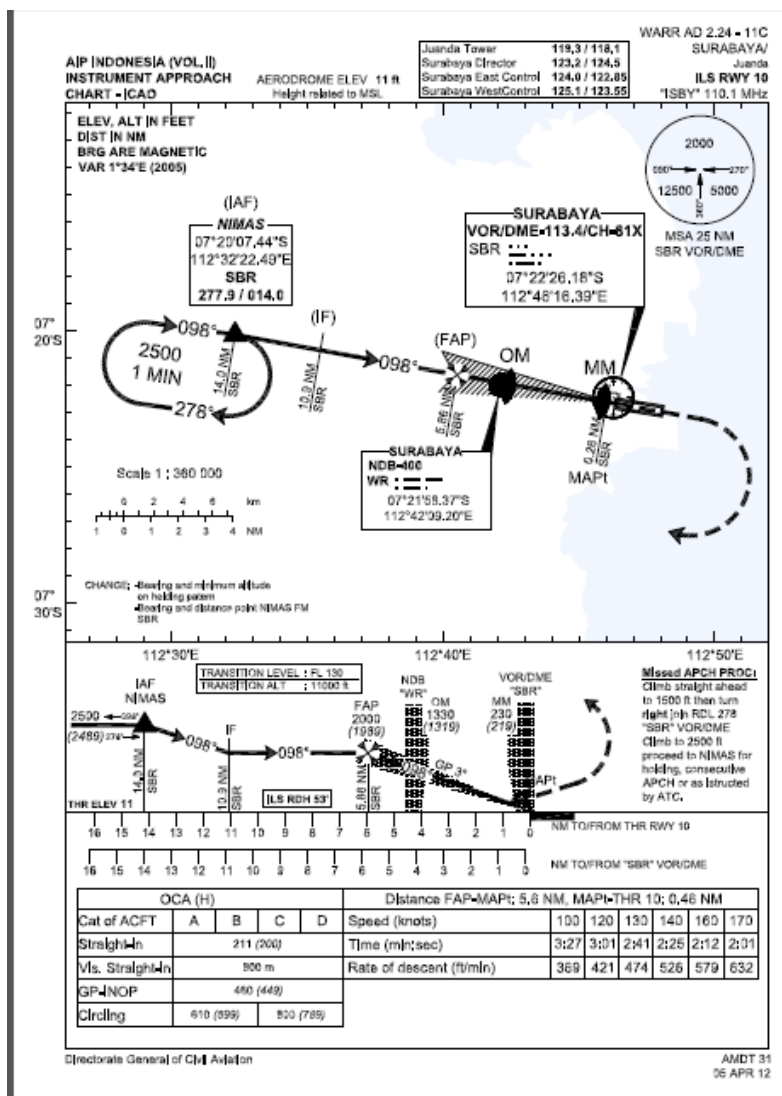
- γ = panjang *airway* mulai dari VOR terdekat sampai titik awal *common approach path* untuk *arrival*, atau panjang *airway* mulai dari akhir *common approach path* sampai VOR/DME terdekat.
- δ = jarak separasi minimum yang diijinkan antara dua pesawat terbang, pesawat terbang *leading* i dan pesawat terbang *trailing* j, dimanapun selama berada di *airway*
- V_i = *approach speed* dari pesawat terbang *leading* kelas k
- V_j = *approach speed* dari pesawat terbang *trailing* kelas k
- R_i = *common approach path occupancy time* dari pesawat terbang *leading*, diasumsikan berdasarkan pengkategorian kecepatan pesawat terbang.
- ΔT_{ij} = separasi waktu sebenarnya pada *common approach path* untuk dua *arrival* yang berurutan, pesawat terbang dengan kelas kecepatan i diikuti dengan pesawat terbang dengan kelas kecepatan j. Separasi waktu ini ditentukan berdasarkan peraturan separasi yang berlaku pada *common approach path*.

$E(\Delta T_{ij})$ = nilai *service time* yang diharapkan, atau waktu *interarrival*, pada *common approach path* untuk campuran pesawat terbang *arrival*.

Sedangkan untuk perhitungan kapasitas ultimate airspace langkah-langkahnya sebagai berikut :

- Persiapan data

Data yang dipersiapkan antara lain adalah data teknis pesawat, jadwal penerbangan, dan chart untuk operasi dengan alat bantu ILS. Pada bandara Juanda ILS terletak di ujung *runway* 10. Contoh dari chart ILS adalah sebagai berikut seperti gambar dibawah ini:



Gambar 5. 1 charts ILS runway 10 approach path

Dengan menggunakan ILS charts diketahui bahwa panjang *approach* path yang tersedia adalah sepanjang 14 NM sedangkan untuk separasi (δ) menggunakan separasi standar bandar udara juanda sebesar 5 NM.

- Membuat presentase kedatangan selama 1 minggu.

Presentase kedatangan selama 1 minggu digunakan untuk membuat matriks probabilitas kedatangan pesawat. Pembuatannya dilakukan dengan mencatat pasangan pesawat terbang sesuai dengan jadwal kedatangan rencana. Hal ini bertujuan untuk mencari separasi waktu di tiap-tiap kombinasi pesawat. Berikut adalah jumlah pasangan pesawat dan matriks probabilitasnya selama 1 minggu

Tabel 5. 1 Tabel Jumlah pasangan kedatangan 24 – 30 juli 2016

	<i>trailing</i>					
<i>leading</i>	A320	B737	A330	ATR	CRJ1000	MD80
A320	155	219	9	15	4	1
B737	201	368	11	26	0	0
A330	10	10	4	0	0	0
ATR	18	23	0	0	0	0
CRJ1000	1	3	0	0	0	0
MD80	1	0	0	0	0	0

Tabel 5. 2 Matriks Probabilitas Kedatangan 24 juli- 30 juli 2016

	<i>trailing</i>					
<i>leading</i>	A320	B737	A330	ATR	CRJ1000	MD80
A320	0,14	0,20	0,01	0,01	0,00	0,00
B737	0,19	0,34	0,01	0,02	0,00	0,00
A330	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
ATR	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
CRJ1000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MD80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

- Perhitungan waktu antar *arrival* untuk menentukan separasi antar pesawat maka digunakan pengkategorian pesawat berdasarkan MTOW sebagai berikut :
- **H** (Heavy) Pesawat dengan MTOW 136.000 kg (300.000 lb) atau lebih;
- **M** (Medium) Pesawat dengan MTOW kurang 136.000 kg (300.000 lb) dan lebih dari 7.000 kg (15.500 lb).
- **L** (Light) Pesawat dengan MTOW 7 000 kg (15 500 lb) kurang

sehingga menurut pesawat yang beroperasi pada hari Minggu, 27 Juli 2016 pukul 11:00-11:59 WIB dapat dituliskan pada tabel 4.2. sedangkan untuk *approach* speed telah dituliskan pada tabel 5.3. sama seperti perhitungan kapasitas ultimate untuk *runway*, pada perhitungan airspace juga terdapat closing case dan opening case sesuai dengan *approach* speednya.

Tabel 5. 3 Approach speed pada terminal airspace

Tipe Pesawat	Kecepatan (Knot)
Boeing 737 all series (B732, B733, B734, B735,B738, B739)	205
McDonnell Douglas MD 80 series (MD80, MD82)	230
Airbus A320 family (A319, A320)	215
Airbus A330 family (A330, A332, A333)	230
Bombardier CRJ-1000	200
ATR-72	210

- *Closing Case* ($V_i \leq V_j$)

Sebagai contoh diambil GA7307 (ATR-72, *leading*)–QG876(A320,*trailing*).

$V_i = 210$ knot

$V_j = 215$ knot

Dengan menggunakan persamaan 2.4 dicari besarnya ΔT_{ij} dan dimasukkan dalam matrik $[M_{ij}]$. sebagai berikut :

$$\Delta T_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{V_i} = \frac{5}{210} \times 3600 = 85.71 \text{ s}$$

- *Opening Case* ($V_i > V_j$)

Sebagai contoh diambil QG920 (Airbus A320, *leading*) – KD710 (ATR-72 *trailing*).

$V_i = 215$ knot

$$V_j = 210 \text{ knot}$$

Dengan menggunakan persamaan 2.6 dicari besarnya ΔT_{ij} dan dimasukkan dalam matrik $[M_{ij}]$, sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \Delta T_{ij} &= T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{V_j} + \left[\frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} \right] = \frac{5}{210} + \left[\frac{1}{210} - \frac{1}{215} \right] \\ &= 91.69 \text{ s} \end{aligned}$$

Demikian seterusnya dihitung untuk semua kombinasi V_i dan V_j yang selanjutnya disusun menjadi matrik $[M_{ij}]$ berikut.

Tabel 5. 4 Matriks (M_{ij}) jarak *interarrival* pada terminal airspace

ARRIVAL	trailing					
leading	A320	B737	A330	ATR	CRJ1000	MD80
A320	83,72	100,06	83,72	91,69	108,84	83,72
B737	87,80	87,80	87,80	87,80	96,59	87,80
A330	100,10	116,44	78,26	108,07	125,22	83,72
ATR	85,71	100,06	85,71	85,71	108,84	85,71
CRJ1000	64,88	81,22	43,04	72,86	90,00	90,00
MD80	100,10	116,44	78,26	108,07	125,22	78,26

Nilai perkiraan waktu antar kedatangan (*interarrival time*) dihitung dengan menggunakan persamaan 2.2, yaitu sebagai berikut :

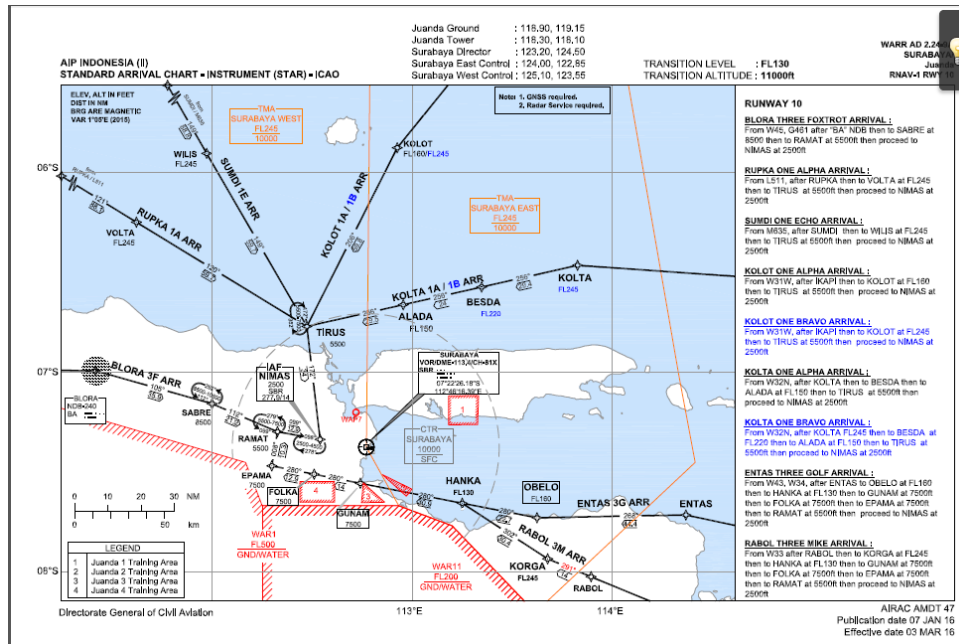
$$\begin{aligned} E(\Delta T_{ij}) &= \sum [P_{ij}] [M_{ij}] \\ E(\Delta T_{ij}) &= 83.72(0.14) + 100.06(0.2) + 83.72(0.01) + \\ &\dots + 78.26(0) \\ E(\Delta T_{ij}) &= 90.34 \text{ s} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan 2.5, kapasitas *runway* 10 untuk operasi kedatangan saja adalah

$$Ca = \frac{1}{E \Delta Tq} = \frac{1}{90.34} \times 3600 = 40 \text{ arrival/jam}$$

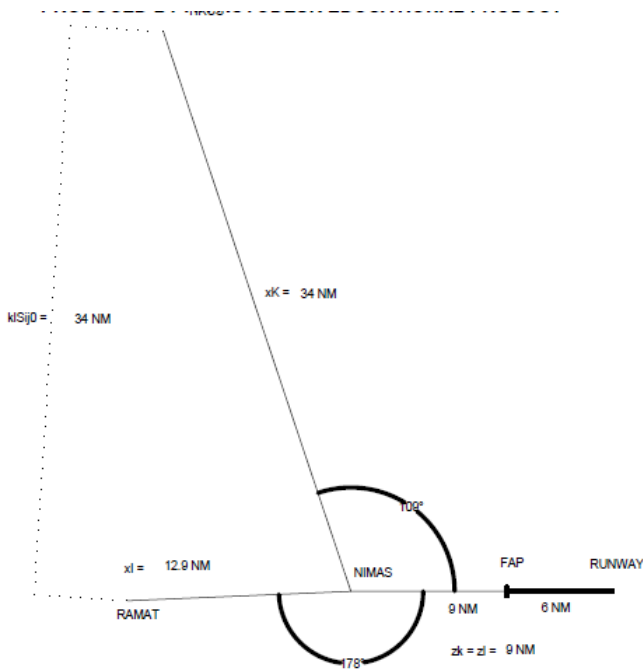
5.1.3 Metode Janic untuk perhitungan kapasitas ultimate Airspace

Dalam metode janic untuk menentukan kapasitas ultimate sebuah terminal airspace nampak sebagai bidang tiga dimensi yang dibatasi oleh titik-titik tertentu. Titik ini disebut dengan entry gate. Entry gate ini sekaligus digunakan sebagai tempat masuknya pesawat kedalam terminal airspace. Pada bandara juanda terminal airspace ini ditandai dengan menggunakan charts yang disebut standar *arrival* chart (STAR).



Gambar 5. 2 STAR Runway 10

Dalam tugas akhir ini digunakan *runway* 10 sebagai dasar perhitungan karena pada pengumpulan data, seluruh operasi menggunakan *runway* 10. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan titik RAMAT dan TIRUS sebagai entry gate dalam perhitungan. Dengan ditetapkannya RAMAT dan TIRUS sebagai titik entry maka pembatasan ruang udara terletak dibawah 7500 ft. Geometri terminal airspace dari juanda menurut STAR adalah sebagai berikut :



Gambar 5. 3 Geometri Terminal Airspace dengan Entry Gate TIRUS dan RAMAT

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa jarak dari RAMAT ke NIMAS (x1) adalah 12.9 nM, TIRUS ke NIMAS (xk) adalah 34 nM, sedangkan jarak NIMAS menuju FAP adalah 9 nM. Separasi awal $_{kl}S_{ij0}$ ditentukan berdasarkan jarak entry gate RAMAT ke TIRUS yaitu ketika dua pesawat terbang memasuki terminal airspace secara bersamaan sebesar 34 nM.

5.1.4 Langkah perhitungan kapasitas ultimate airspace dengan metode Janic

Data yang dibutuhkan pada metoda Janic ini adalah sebagai berikut :

- Geometri dan batasan dari terminal airspace
- Kecepatan *Approach* dari tiap tipe pesawat
- Aturan Separasi yang diterapkan di Bandar Udara Juanda
- Probabilitas masuknya pesawat melalui entry gate yang sudah ditentukan

Sedangkan langkah perhitungan menggunakan metode janic adalah sebagai berikut:

- a) Menghitung probabilitas penggunaan entry gate TIRUS dan RAMAT.

Dasar metode janic adalah ketika pesawat memasuki terminal airspace dan melakukan *approach* untuk operasi pendaratan. Berikut adalah presentase penggunaan pasangan entry gate RAMAT dan TIRUS pada tanggal 24-30 Juli 2016 :

Tabel 5. 5 Jumlah operasi penerbangan yang menggunakan pasangan entry gate RAMAT dan TIRUS

WEEKLY	TRAILING				
		RAMAT		TIRUS	
LEADING	Kelas	H	M	H	M
RAMAT	H	0	5	3	3
	M	3	395	2	275
TIRUS	H	6	3	0	1
	M	2	275	4	126

Pembagian kelas pesawat mengikuti pembagian berdasarkan MTOW yang telah dibahas di Bab 4 sedangkan untuk separasi menggunakan separasi standar 5 NM.

- b) Menentukan *interarrival time* ($_{kl}t_{ij}$) berdasarkan entry gate.
 Seperti metode ruang-waktu, dalam metode janic juga membutuhkan jarak antar kedatangan untuk menghitung kapasitas ultimate dari terminal airspace. Perhitungan $_{kl}t_{ij}$ dapat menggunakan persamaan 2.37.

$${}_{kl}t_{ij} = \left(\frac{klS0ij+xl}{V_j} + \frac{yl+zl}{u_j} \right) - \left(\frac{xk}{vi} + \frac{yk+zk}{ui} \right) \quad (2.37)$$

digunakan contoh perhitungan QZ387 (A320, *leading*, TIRUS) dengan ID7519 (A320, *trailing*, RAMAT)

$${}_{kl}t_{ij} = \left(\frac{34+34}{230} + \frac{0+9}{230} \right) - \left(\frac{12.9}{230} + \frac{0+12.9}{230} \right) \times 3600$$

$${}_{kl}t_{ij} = 408 \text{ s}$$

hasil dari perhitungan ${}_{kl}t_{ij}$ ini dapat ditabelkan dengan sebagai berikut

Tabel 5. 6 Matriks ${}_{kl}t_{ij}$

	TRAILING				
		RAMAT		TIRUS	
LEADING		H	M	H	M
RAMAT	H	78,26	78,26	408,52	408,52
	M	45,61	85,71	375,88	447,43
TIRUS	H	-252,00	-211,90	78,26	149,81
	M	-316,10	-276,00	14,16	85,71

Terlihat diatas bahwa terdapat nilai minus pada matriks ${}_{kl}t_{ij}$ yang menunjukkan bahwa pesawat *trailing* akan masuk lebih dulu daripada pesawat *leading*.

c) Menentukan *interarrival* time (t_a)

Setelah mendapatkan matriks kl_{ij} maka dengan menggunakan persamaan 2.34 akan didapatkan waktu *interarrival* rata-rata. Untuk mendapatkan waktu *inter arrival* rata-rata maka perlu dilakukan perhitungan terhadap presentase *arrival* di tiap-tiap entry gate. Berikut ini adalah presentase *arrival* di tiap gate

Tabel 5. 7 Presentase *Traffic* di tiap entry gate

	RAMAT	TIRUS
H	0,99	0,99
M	0,01	0,01

Selain itu juga diperlukan probabilitas pasangan pesawat yang datang melalui entry gate RAMAT dan TIRUS. Perhitungan dilakukan dengan menghitung pasangan pesawat pada operasi kedatangan berdasarkan entry gatenya masing masing seperti yang tercantum pada tabel 5.5. Dengan persamaan 2.34 maka dapat dihitung t_a seperti dibawah ini:

$$t_a = \sum P_k P_{i/k} P_l P_{j/l}$$

$$t_a = (62.6 \times 0 \times 0.01) + (78.26 \times 0.005 \times 0.01) + \dots + (51.42 \times 0.114 \times 0.99)$$

$$t_a = 84 \text{ s}$$

kapasitas terminal airspace menurut Janic adalah

$$\lambda = 1/t_a = \frac{1}{84} \times 3600 = 43 \text{ arrival/jam}$$

berdasarkan hasil perhitungan didapatkan bahwa kapasitas ultimate terminal airspace menggunakan metode pendekatan menghasilkan 40 operasi/jam, sedangkan ketika menggunakan metode janic didapatkan kapasitas sebesar 43 operasi/jam. Hal ini disebabkan karena pada perhitungan kapasitas janic lebih memperhitungkan posisi entry gate , sehingga lebih mirip dengan keadaan sebenarnya.

5.2 Upaya Peningkatan Kapasitas di Bandar Udara Juanda

5.2.1 Upaya Peningkatan Kapasitas *Runway* di Bandar Udara Juanda

- Pengurangan separasi berdasarkan ICAO
 Pengurangan separasi merupakan salah satu solusi untuk masalah kurangnya kapasitas *runway* yang ada tanpa harus membangun infrastruktur baru. Di bandar udara juanda masih menganut aturan separasi lama sejauh 5 NM untuk semua jenis pesawat. Sedangkan pada penerbangan modern sudah digunakan separasi longitudinal yang sudah ditampilkan pada tabel 2.2.

Langkah perhitungan yang digunakan sama dengan menghitung kapasitas *runway* berdasarkan ruang dan waktu.

a. Menghitung kapasitas *runway* berdasarkan operasi kedatangan saja

a. *Closing Case* ($V_i \leq V_j$)

Sebagai contoh diambil GA7307 (ATR-72, *leading*)– QG876(A320,*trailing*).

$V_i = 105$ knot

$V_j = 135$ knot

Dengan menggunakan persamaan 2.4 dicari besarnya ΔT_{ij} dan dimasukkan dalam matrik $[M_{ij}]$. sebagai berikut :

$$\Delta T_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{V_i} = \frac{3}{105} \times 3600 = 80 \text{ s}$$

b. *Opening Case* ($V_i > V_j$)

Sebagai contoh diambil QG920 (Airbus A320, *leading*) – KD710 (ATR-72 *trailing*).

$V_i = 135$ knot

$V_j = 105$ knot

Dengan menggunakan persamaan 2.6 dicari besarnya ΔT_{ij} dan dimasukkan dalam matrik $[M_{ij}]$. sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \Delta T_{ij} &= T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{V_j} + \left[\frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} \right] = \frac{3}{105} + 6 \times \left[\frac{1}{105} - \frac{1}{135} \right] \\ &= 148.6 \text{ s} \end{aligned}$$

Demikian seterusnya dihitung untuk semua kombinasi V_i dan V_j yang selanjutnya disusun menjadi matrik $[M_{ij}]$ berikut.

**Tabel 4. 25 Matrix [Mij] untuk operasi kedatangan
Minggu, 27 juli 2016**

<i>ARRIVAL</i>	<i>trailing</i>					
<i>leading</i>	A320	B737	A330	ATR	CRJ1000	MD80
A320	80,0	89,2	80,0	148,6	80,0	80,0
B737	83,1	83,1	83,1	148,6	89,2	83,1
A330	139,0	150,3	102,9	222,9	139,0	139,0
ATR	102,9	102,9	102,9	102,9	102,9	102,9
CRJ1000	80,0	89,2	80,0	148,6	80,0	80,0
MD80	80,0	89,2	80,0	148,6	80,0	80,0

Dengan menggunakan separasi standar ICAO maka didapatkan waktu *interarrival* yang lebih rendah.

Sedangkan probabilitas terjadinya urutan pesawat yang datang untuk semua kombinasi V_i dan V_j didapatkan dengan membandingkan urutan kedatangan dengan total jumlah kedatangan yang terjadi. sehingga didapatkan matriks $[P_i]$ sebagai berikut:

**Tabel 4. 26 Matrix [Pij] untuk operasi kedatangan
Minggu, 27 juli 2016**

	<i>trailing</i>					
<i>leading</i>	A320	B737	A330	ATR	CRJ1000	MD80
A320	15,1	28,2	0,0	0,0	3,4	0,0
B737	25,3	48,8	0,9	9,6	0,0	0,0
A330	0,9	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0
ATR	3,2	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0
CRJ1000	0,8	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0
MD80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Nilai perkiraan waktu antar kedatangan (*interarrival time*) dihitung dengan menggunakan persamaan 2.2, yaitu sebagai berikut :

$$E(\Delta T_{ij}) = \sum [P_{ij}][M_{ij}]$$

$$E(\Delta T_{ij}) = 80(0.113) + 89.2(28.2) + 80.0(0) + \dots + 80(0)$$

$$E(\Delta T_{ij}) = 88.178 \text{ s}$$

Dengan menggunakan persamaan 2.5, kapasitas *runway* 10 untuk operasi kedatangan saja adalah

$$C_a = \frac{1}{E \Delta T_q} = \frac{1}{88.178} \times 3600 = 41 \text{ arrival/jam}$$

b) Kapasitas sistem *runway* untuk keberangkatan saja (*departure only*)

untuk kapasitas *runway* pada operasi keberangkatan saja, sama dengan hasil yang dihitung sebelum dilakukan usaha pengurangan separasi. Karena untuk pengaturan separasi kedatangan sudah menggunakan standar ICAO.

c) Kapasitas sistem *runway* untuk operasi campuran (*mixed operation*)

padaproses perhitungan untuk operasi campuran juga sama dengan yang dilakukan sebelum adanya pengurangan separasi

Perhitungan Gap antar operasi kedatangan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$G_{h-s} = T_2 - T_1 = (E(\Delta T_{ij}) - \frac{\delta}{V_s}) - (ROT) \quad (4.1)$$

dimana :

G = Gap antar kedatangan (s)

T2 = Waktu *Arrival Trailing*(s)

- T_1 = Waktu *Arrival Leading*(s)
 $E(\Delta T_{ij})$ = Waktu *Interarrival* (s)
 δ = Jarak separasi minimum (nm)
 ROT = *Runway Occupation time*(s)
 V_s = kecepatan pesawat *trailing* (knot)

diambil contoh *arrival* BTK 7512 (Airbus A320 , *Leading*) – CTV 9702 (Airbus A320, *Trailing*)

$$E(\Delta T_{ij}) = 80 \text{ s}$$

$$\delta = 3 \text{ nm}$$

$$ROT = 65 \text{ s}$$

$$V_s = 135 \text{ knots}$$

$$\begin{aligned}
 G_{h-s} = T_2 - T_1 &= (E(\Delta T_{ij}) - \frac{\delta}{V_s}) - (ROT) \\
 &= T_2 - T_1 = 133 - \frac{3}{135 \times 0.0002} - (65) \\
 &= 15 \text{ s}
 \end{aligned}$$

diambil contoh *arrival* QG920 (Airbus A320 , *Leading*) – KD710(Atr-72, *Trailing*)

$$E(\Delta T_{ij}) = 148 \text{ s}$$

$$\delta = 3 \text{ nm}$$

$$ROT = 65 \text{ s}$$

$$V_s = 105 \text{ knots}$$

$$\begin{aligned}
 G_{h-s} = T_2 - T_1 &= (E(\Delta T_{ij}) - \frac{\delta}{V_s}) - (ROT) \\
 &= T_2 - T_1 = 148 - \frac{3}{105} - (65) \\
 &= 84 \text{ s}
 \end{aligned}$$

pada kasus kedatangan ATR-72 – A320 yang berhimpitan maka gap yang terjadi adalah 84 detik.

Kemudian dicari $\sum R_i$ yang merupakan probabilitas dari *runway* occupancy time pada setiap tipe pesawat yang dapat ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 4. 27 Probabilitas ROT dari Tiap Pesawat pada operasi kedatangan

Tipe Pesawat	ROT	Jumlah	total	probabilitas
Boeing 737 all series	65	96	168	0.57
Airbus A320 family (A319, A320)	65	58	168	0.36
ATR-72 Series	55	8	168	0.048
MD80 Series	70	0	168	0
A330 Series	75	2	168	0.012
CRJ-1000 Series	70	4	168	0.024

$$\sum R_i = (\text{ROT A320} \times p_{\text{A-320}}) + (\text{ROT b737} \times p_{\text{737}}) + (\text{ROT ATR-72} \times p_{\text{ATR-72}}) + \dots + (\text{ROT CRJ-1000} \times p_{\text{CRJ-1000}}) + \dots$$

$$\sum R_i = (65 \times 0.36) + (65 \times 0.57) + (55 \times 0.048) + \dots = 65 \text{ s}$$

Selanjutnya dicari nilai $\sum (\delta d/V_j)$ yaitu sebagai berikut:

$$\sum (\delta d/V_j) = 0.36 \frac{5}{135} + 0.57 \frac{5}{130} + 0.048 \frac{5}{130} + 0 \frac{5}{130} + 0.012 \frac{5}{140} + 0.024 \frac{5}{135}$$

$$\sum (\delta d/V_j) = 138 \text{ s}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk jumlah gap yang diperlukan untuk melepas sejumlah keberangkatan tertentu dengan persamaan 2.24

$$E(\Delta T_{ij}) \geq E(R_i) + E\left(\frac{\delta d}{V_j}\right) + (n_d - 1) (E_{td})$$

$$162 \geq 59 + 138 + (n_d - 1) (E_{td})$$

$$162 \geq 203 + (n_d - 1) (E_{td})$$

kebutuhan inter *arrival* time untuk 1 keberangkatan = 203 s

kebutuhan inter *arrival* time untuk 2 keberangkatan = 263 s

kebutuhan inter *arrival* time untuk 3 keberangkatan = 343 s

Untuk diselingi satu keberangkatan maka dibutuhkan Gap sebesar 223 detik sehingga berdasarkan persamaan 2.25 dapat dihitung kapasitas ultimate *runway* 10 untuk operasi campuran.

$$C_m = \frac{1}{E(\Delta T_{ij})} + (\sum_{nd} p_{nd}) = \frac{1}{88.178} + (1 \times 0)$$

$$C_m = 41 \text{ operasi/jam}$$

Hasil Perhitungan selama 24 – 27 Juli 2016 dapat ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4. 28 Kapasitas Ultimate *Runway* 10 Bandara Juanda 24-30 Juli 2016

hari	γ	$E(\Delta T_{ij})$	Etd	Ca	Cd	Cm
minggu	6	88.2	60	41	60	41
senin	6	88.74	61	41	59	41
selasa	6	89	62	40	58	40
rabu	6	88	61	41	60	41
kamis	6	88	62	41	58	41
jumat	6	89	60	40	60	42
sabtu	6	89	61	40	58	40

- **Perubahan Populasi Pesawat**

Perubahan populasi pesawat disini menggunakan komposisi sebesar 97.83% untuk pesawat berkategori medium dan 2.17% untuk pesawat berkategori heavy. Karena mix index merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kapasitas *runway* maka, dilakukan analisa untuk menentukan kapasitas *runway* berdasarkan komposisi pesawat yang terjadi.

Pada Bab 4 telah dihitung *interarrival* time yang dibutuhkan untuk masing- masing tipe pesawat. Pada pembahasan kali ini waktu *interarrival* akan disederhanakan dengan membuat matrix *interarrival* berdasarkan klasifikasi pesawat saja dengan cara merata-rata waktu *interarrival* dan probabilitas sehingga diperoleh matriks-matriks berikut :

Tabel 4. 29 Matriks Pij berdasarkan klasifikasi

	<i>Leading</i>	
<i>Trailing</i>	M	H
M	0,965395	0,023957
H	0,023957	0,004437

Tabel 4. 30 Matrix Tij berdasarkan Klasifikasi

	<i>Leading</i>	
<i>Trailing</i>	M	H
M	146,4205	141,978
H	158,0659	128,5714

Dengan cara permodelan kapasitas ruwnay ruang-waktu. Maka dapat dicari kapasitas dari *runway* dengan merubah presentase probabilitas sebagai berikut :

Tabel 4. 31 Tabel Perubahan kapasitas berdasarkan Presentase Pesawat Terbang

Presentase		Pij				E Δ tij	Cm
M	H	PM-M	PM-H	PH-M	PH-H		
100	0	1	0	0	0	146	25
90	10	0,81	0,09	0,09	0,02	148	24
80	20	0,64	0,16	0,16	0,04	146	25
70	30	0,49	0,21	0,21	0,09	146	25
60	40	0,36	0,24	0,24	0,16	145	25
50	50	0,25	0,25	0,25	0,25	143	25
40	60	0,16	0,24	0,24	0,36	143	25

Berdasarkan tabel di atas diketahui bahwa faktor populasi pesawat hanya sedikit berpengaruh terhadap kapasitas *runway* secara langsung pada metode Ruang Waktu.

- Penambahan *Runway*

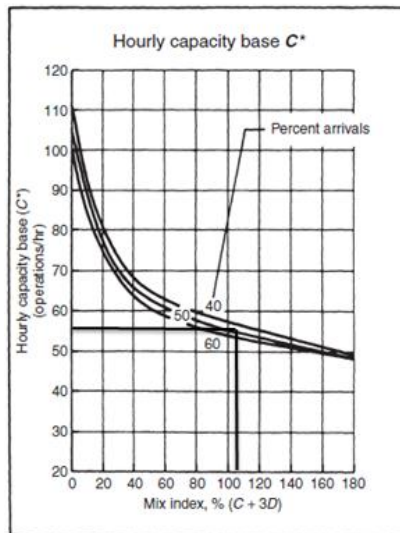
Upaya terakhir yang bisa diambil dalam peningkatan kapasitas *runway* adalah penambahan *runway* baru. Sebenarnya penambahan *runway* merupakan cara yang kurang efisien. *Runway* adalah fasilitas yang mahal dalam perencanaan sebuah bandara. Selain itu dengan bertambahnya *runway* tanpa perbaikan performa manajemennya malah akan membuat kepadatan lebih bertambah.

Pada penelitian ini digunakan asumsi apabila *runway* baru terletak secara parallel di antara *runway* existing dengan memiliki 5 exit taxiway dengan 3 rapid exit taxiway (identik dengan sisi selatan *runway* existing). Dimensi dari *runway* baru ini akan identik dengan *runway* existing. Dengan asumsi bahwa demand yang dilayani adalah tetap maka berdasarkan metode FAA dapat ditentukan kapasitas kedua *runway* bandar udara juanda seperti dibawah ini :

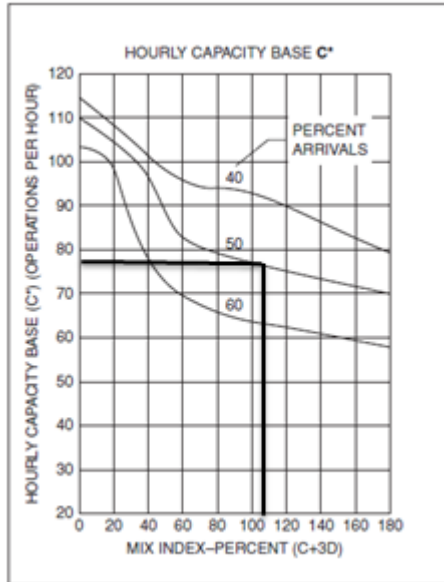
Tabel 4. 32 Letak Exit Taxiway *runway* baru dan *runway* existing

<i>Runway</i>	Jarak Exit Taxiway dari threshold <i>Runway</i> (m)										Exit Factor
	N1	N2	N3	N4	N5	S1	S2	S3	S4	S5	
10R	0	928	1670	2503	2993	0	715	1485	2257	2993	1
28R	2993	2065	1323	490	0	2993	2278	1506	734	0	1
10R	0	0	0	0	0	0	715	1485	2257	2993	0,94
28R	0	0	0	0	0	2993	2278	1506	734	0	0,94

Dengan asumsi bahwa demand yang akan dilayani tetap maka untuk mix index tetap seperti yang sudah dihitung di perhitungan kapasitas FAA yaitu sebesar 104. Presentase *arrival* juga tetap seperti pada perhitungan kapasitas FAA yaitu rata-rata sebesar 50%. Data-data tersebut dimasukkan dalam grafik bantu sebagai berikut:



Gambar 4. 23 Grafik Bantu untuk penentuan kapasitas *runway* baru pada kondisi VFR



Gambar 4. 24 Grafik Bantu untuk penentuan kapasitas *runway* baru pada kondisi IFR

Asumsi untuk peresentase penggunaan *runway* adalah 100%-100% yang artinya demand yang ada akan dibagi secara merata ke kedua *runway*. Sehingga perhitungan kapasitinya menjadi seperti berikut :

Kondisi VFR :

$$\begin{aligned}
 C &= 100 \% \times (C \text{ Runway } 10L) + 100\% \times (C \text{ runway } 10 R) \\
 &= 100 \% \times (54) + 100\% \times (58) \\
 &= 103 \text{ operasi / jam}
 \end{aligned}$$

Kondisi IFR :

$$\begin{aligned}
 C &= 100 \% \times (C \text{ Runway } 10L) + 100\% \times (C \text{ runway } 10 R) \\
 &= 100 \% \times (70) + 100\% \times (75) \\
 &= 145 \text{ operasi / jam}
 \end{aligned}$$

Sehingga dengan penambahan *runway* diperoleh peningkatan kapasitas yang terjadi mencapai 103 operasi untuk VFR dan 145 operasi untuk IFR.

Selain penambahan *runway*, kita dapat melakukan pengaturan dengan mengubah pola penggunaan *runway*. Dengan dua buah *runway* yang dimiliki sekarang, terdapat beberapa pola dalam pengoperasian *runway*, yaitu :

- a. Satu *runway* untuk operasi kedatangan saja dan satu *runway* untuk operasi keberangkatan saja.

Apabila *runway* dioperasikan secara terpisah (*segregated*), di mana 1 *runway* digunakan untuk operasi kedatangan saja sedangkan *runway* lainnya digunakan untuk operasi keberangkatan saja maka kapasitas jenuh *runway* di Bandara Juanda merupakan penjumlahan kapasitas jenuh *runway* tunggal untuk operasi keberangkatan dan kedatangan saja.

Dari hasil perhitungan kapasitas jenuh *runway* dengan formulasi matematis didapat kapasitas jenuh *runway* tunggal untuk operasi keberangkatan saja adalah 58 operasi per jam, sedangkan kapasitas jenuh *runway* tunggal untuk operasi kedatangan saja adalah 25 operasi per jam. Jadi kapasitas kedua *runway* untuk operasi terpisah adalah 83 operasi per jam.

- b. Satu *runway* untuk operasi keberangkatan saja dan satu *runway* untuk operasi campuran

Dari hasil perhitungan kapasitas jenuh *runway* dengan formulasi matematis didapat kapasitas jenuh *runway* tunggal untuk operasi keberangkatan saja adalah 58 operasi per jam, sedangkan kapasitas jenuh *runway* tunggal untuk operasi campuran adalah 26 operasi per jam. Jadi kapasitas jenuh kedua *runway* adalah 84 operasi per jam.

- c. Satu *runway* untuk operasi kedatangan saja dan satu *runway* untuk operasi campuran

Dari hasil perhitungan kapasitas jenuh *runway* dengan formulasi matematis didapat kapasitas jenuh *runway* tunggal untuk operasi kedatangan saja adalah 25 operasi per jam, sedangkan kapasitas jenuh *runway* tunggal untuk operasi campuran adalah 26 operasi per jam. Dengan demikian kapasitas kedua *runway* adalah 51 operasi per jam.

- d. Kedua *runway* untuk operasi campuran

Dari hasil perhitungan kapasitas jenuh *runway* dengan formulasi matematis didapat kapasitas jenuh *runway* tunggal untuk operasi campuran adalah 26 operasi per jam, sehingga kapasitas kedua *runway* mencapai 52 operasi/ jam.

5.2.2 Upaya peningkatan kapasitas Ruang udara di Bandar Udara Juanda

Selain *runway* faktor yang berpengaruh dari kapasitas suatu bandar udara adalah kapasitas ruang udara. Dari penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini menghasilkan bahwa sebenarnya kapasitas dari ruang udara Juanda ini masih mencukupi dengan demand yang terjadi selama ini. Sehingga, peningkatan kapasitas ruang udara yang dibahas pada tugas akhir ini hanya sebatas teoritis dan sebagai referensi saja.

- Pengurangan separasi berdasarkan ICAO
Pengurangan separasi merupakan salah satu solusi untuk masalah kurangnya kapasitas ruang udara. Di bandar udara juanda masih menganut aturan separasi lama sejauh 5 NM untuk semua jenis pesawat. Sedangkan pada penerbangan modern sudah digunakan separasi longitudinal yang sudah ditampilkan pada tabel 2.2.

Langkah perhitungan yang digunakan sama dengan menghitung kapasitas ruang udara berdasarkan ruang dan waktu.

a. *Closing Case* ($V_i \leq V_j$)

Sebagai contoh diambil GA7307 (ATR-72, *leading*)–QG876(A320,*trailing*).

$V_i = 210$ knot

$V_j = 215$ knot

Dengan menggunakan persamaan 2.4 dicari besarnya ΔT_{ij} dan dimasukkan dalam matrik $[M_{ij}]$. sebagai berikut :

$$\Delta T_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{v_i} = \frac{3}{210} \times 3600 = 85.71 \text{ s}$$

b. *Opening Case* ($V_i > V_j$)

Sebagai contoh diambil QG920 (Airbus A320, *leading*) – KD710 (ATR-72 *trailing*).

$V_i = 215 \text{ knot}$

$V_j = 210 \text{ knot}$

Dengan menggunakan persamaan 2.6 dicari besarnya ΔT_{ij} dan dimasukkan dalam matrik $[M_{ij}]$. sebagai berikut :

$$\Delta T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{v_j} + \left[\frac{1}{v_j} - \frac{1}{v_i} \right] = \frac{3}{210} + \left[\frac{1}{210} - \frac{1}{215} \right]$$

$$= 91.69 \text{ s}$$

Demikian seterusnya dihitung untuk semua kombinasi V_i dan V_j yang selanjutnya disusun menjadi matrik $[M_{ij}]$ berikut.

Tabel 5. 8 Matriks (M_{ij}) jarak *interarrival* pada terminal airspace

ARRIVAL	trailing					
leading	A320	B737	A330	ATR	CRJ1000	MD80
A320	50,23	64,93	50,23	57,41	72,84	50,23
B737	52,68	52,68	52,68	52,68	60,59	52,68
A330	100,10	116,44	62,61	108,07	125,22	83,72
ATR	51,43	64,93	51,43	51,43	72,84	51,43
CRJ1000	54,00	54,00	54,00	54,00	54,00	54,00
MD80	66,61	81,31	46,96	73,79	89,22	46,96

Nilai perkiraan waktu antar kedatangan (*interarrival time*) dihitung dengan menggunakan persamaan 2.2, yaitu sebagai berikut :

$$E(\Delta T_{ij}) = \sum [P_{ij}][M_{ij}]$$

$$E(\Delta T_{ij}) = 50.23(0.14) + 64.93(0.2) + 50.23(0.01) + \dots + 46.96(0)$$

$$E(\Delta T_{ij}) = 56.26 \text{ s}$$

Dengan menggunakan persamaan 2.5, kapasitas *runway* 10 untuk operasi kedatangan saja adalah

$$C_a = \frac{1}{E \Delta T_q} = \frac{1}{56.26} \times 3600 = 64 \text{ arrival/jam}$$

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB VI

KESIMPULAN & SARAN

Pada bab ini akan diberikan kesimpulan mengenai tugas akhir ini dan rekomendasi yang diberikan pada pihak-pihak terkait.

6.1 Kesimpulan

Beberapa hal yang dapat disimpulkan di tugas akhir ini adalah :

1. Pola pengaturan di bandar udara internasional Juanda menggunakan koordinasi antar unit yang mengacu pada peraturan AIP dan chart *approach* yang diterbitkan oleh dirjen perhubungan udara Indonesia.
2. Berdasarkan hasil penelitian untuk kapasitas ruang udara menggunakan pendekatan ruang/waktu maka didapatkan kapasitas sebesar 40 operasi/jam. Sedangkan berdasarkan metode Janic didapatkan perhitungan sebesar 43 operasi/ jam.
3. Berdasarkan hasil penelitian untuk kapasitas *runway* didapatkan untuk metode ruang-waktu menghasilkan kapasitas sebesar 26 operasi/jam, sedangkan ketika menggunakan metode dari FAA dihasilkan kapasitas sebesar 58 operasi/jam

4. dari hasil perhitungan didapatkan bahwa kapasitas (*supply*) lebih besar daripada jumlah operasi (*demand*) yang terjadi di Bandar udara Juanda.
5. Setelah melalui upaya peningkatan, kapasitas maksimum *runway* bandar udara juanda dapat ditingkatkan hingga mencapai 84 operasi/jam. Setelah melalui upaya peningkatan kapasitas maksimum ruang udara kedatangan bandar udara dapat ditingkatkan hingga mencapai 64 kedatangan/jam

6.2 Saran

Guna memberikan evaluasi dan meningkatkan kesadaran masyarakat, swasta dan pemerintah, maka penulis memberikan beberapa saran terkait kondisi kapasitas ruang udara Bandara Juanda, antara lain:

1. Hasil studi ini dapat digunakan sebagai langkah awal untuk menentukan kebijakan dan pengembangan bandara yang berdasarkan *Air traffic management*
2. Memperbaiki fasilitas dan infrastruktur pendukung operasi penerbangan.
3. Berdasarkan Jadwal penerbangan dan lembaga lain menunjukkan bahwa kapasitas dari bandar udara juanda sebesar 26 operasi/jam. Hal ini menunjukkan bahwa sebenarnya selain kapasitas ruang udara dan *runway* faktor lain juga berpengaruh, seperti cuaca, ground handling, serta jumlah gate yang ada.

Selain itu, guna meningkatkan kualitas analisis dan studi selanjutnya, terdapat beberapa masukan bagi penulis dan pihak yang terlibat dalam penyelesaian tugas ini, diantaranya:

1. Instansi pemegang kuasa bandara hendaknya, memberikan kemudahan untuk meninjau kinerja bandara demi kebaikan bersama.
2. Perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai korelasi ruang udara dan kapasitas pendukung penerbangan.

(halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Aeronautical Information Publication* ., Dirjen Perhubungan Udara Republik Indonesia ., 2016
- Ashford, N.J ., Mumayiz, S.A., Wright, P.H., 2011. *Airport Engineering Planning, Design, And Development of 21st-Century Airports*. John Wiley & Sons Inc.
- Airport Capacity and Delay*, Advisory Circular AC 150/5060-5. Federal Aviation Association , Washington, 1983.
- Ayu, Fransisca. (2009). “Studi *Air traffic Flow Management* : Studi Kasus Bandara Internasional Soekarno Hatta”. Bandung :Teknik Penerbangan Institut Teknologi Bandung
- Horonjeff, Robert ., McKelvey, F.X., Sproule, William J., Young, S.B., 2010. *Planning & Design of Airport*. McGraw Hill Inc.
- Indonesia ATFM Implementation* ., ICAO ., 2014.
- Indah, I Gusti. (2009). “Studi Performansi Layout *Exit Taxiway* untuk Mendapatkan Kapasitas Optimum Landas Pacu Utara Bandar Udara Soekarno-Hatta”. Bandung :Teknik Penerbangan Institut Teknologi Bandung
- Janic, Milan., 2000., *Air Transport System Analysis and Modelling*. Amsterdam.
- Odoni, A., Neufville, R., 2003 *Airport System : Planning, Design, and Management*. McGraw Hill.Inc

Young, S.B., Wells, A.T., 2011. *Airport Planning and Management*. McGraw Hill .Inc

[http:// www.flightradar24.com](http://www.flightradar24.com) diakses pada tanggal 24-30 Juli 2016.

[http:// www.wuunderground.com](http://www.wuunderground.com) diakses tanggal 24-30 Juli 2016

FACHRI RAMADHAN



Penulis dilahirkan di Malang pada 17 Februari 1994, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di BA RESTU, Malang (1999-2000), MIN Malang 1 (2000-2006), SMPN 3 Malang (2006-2009) dan SMAN 3 Malang (2009-2012). Sebelum lulus dari SMA pada Tahun 2012, Penulis mengikuti Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) melalui jalur seleksi tertulis dan diterima di Jurusan Teknik Sipil, FTSP, ITS pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 3112100112. Di Jurusan Teknik Sipil ini Penulis adalah Mahasiswa Program Sarjana (S1).

Email : fachri.ramadhan.work@gmail.com